VISIT…

Н. П. СЕМИКОЛЕНОВ
Ф. Г. БОНДАРЕНКО
Н. Я. КРАСНЕР

ОСНОВЫ СТРЕЛЬБЫ ИЗ ОРУЖИЯ СТРЕЛКОВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
Москва — 1958

Полковник СЕМИКОЛЕНОВ Н. П.,
полковник БОНДАРЕНКО Ф. Г.,
гвардии полковник КРАСНЕР Н. Я.

ОСНОВЫ СТРЕЛЬБЫ ИЗ ОРУЖИЯ СТРЕЛКОВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Под общей редакцией
академика генерал-лейтенанта
артиллерии запаса
БЛАГОНРАВОВА А. А.

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА — 1958

Полковник Семиколенов Н. П., полковник **Бондаренко Ф. Г.**,
гвардии полковник **Краснер Н. Я.**

ОСНОВЫ СТРЕЛЬБЫ ИЗ ОРУЖИЯ СТРЕЛКОВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

В книге изложены краткие сведения о развитии основ стрельбы, о современном оружии стрелковых подразделений, о взрывчатых веществах и их свойствах, сведения из внутренней и внешней баллистики; дается понятие о сущности прицеливания и излагается устройство различных прицельных приспособлений; излагаются вопросы практического значения формы траектории и действие снарядов (пуль) по цели; освещены основные вопросы из теории вероятностей, теории ошибок, рассеивания, вероятности попадания и поражения целей.

Книга может быть использована в качестве учебного пособия для курсантов военных училищ. Кроме того, она может служить пособием для офицеров Советской Армии при их самостоятельной работе.

Главы книги написаны: введение и главы I, II, III, IV и VII — гвардии полковником Краснером Н. Я.; главы V и VI — полковником Бондаренко Ф. Г.; глава VIII — полковником Бондаренко Ф. Г. и гвардии полковником Краснером Н. Я.; главы IX, X, XI, XII и XIII — полковником Семиколеновым Н. П.

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование и изготовление новых образцов оружия. правильная эксплуатация существующих систем, разработка правил стрельбы, соответствующих современным условиям боя и тактико-техническим свойствам оружия, и умелое применение этих правил невозможны без определенных теоретических знаний, получаемых в результате изучения ряда наук, носящих общее название **артиллерийских.**

К основным из них относятся:

— **Основания устройства и проектирования материальной части и боеприпасов** — наука о принципах устройства и проектирования различных систем оружия и боеприпасов к ним.

— **Теория взрывчатых веществ** — наука о составе, химических и физических свойствах взрывчатых веществ, об их практическом применении и сущности явления взрыва.

— **Внутренняя баллистика** — наука о явлениях, происходящих внутри канала ствола в момент выстрела, и законах движения снаряда (пули) под действием пороховых газов.

— **Внешняя баллистика** — наука о законах движения снаряда (пули) в воздухе и методах определения баллистических характеристик оружия.

— **Теория стрельбы** — наука, разрабатывающая на основе теории вероятностей и теории ошибок наиболее целесообразные правила стрельбы по различным целям в различных условиях.

Определенный минимум знаний, охватывающий основные сведения из перечисленных наук, необходим каждому офицеру независимо от рода его конкретной деятельности.

В программе военных училищ этот необходимый минимум теоретических знаний представляет собой один из разделов огневой подготовки, носящий название «Основы стрельбы».

Таким образом, «Основы стрельбы» являются разделом огневой подготовки, дающим необходимые знания из области артиллерийских наук в определенной системе и последовательности, с учетом специфики стрелкового оружия и минометов в устройстве материальной части, в вопросах баллистики и стрельбы.

Появление в значительном количестве более или менее однотипных образцов оружия неизменно влечет за собой разработку определенных приемов и правил стрельбы. Первоначально эти приемы

и правила стрельбы передавались устно, затем стали оформляться в качестве отдельных приказов и документов, и лишь позднее появились уставы и наставления, в которых среди прочих вопросов воинского мастерства большое место занимали вопросы использования оружия.

Так, Петр I, добиваясь однообразного вооружения русских полков, большое внимание уделял правильному и однообразному обучению солдат владению оружием. Это нашло отражение в «Уставе воинском» (1716 г.).

В дальнейшей разработке вопросов практического применения артиллерийского и стрелкового оружия и выработке наиболее целесообразных приемов его использования большую роль сыграли прославленные русские полководцы Румянцев, Суворов, Кутузов.

К началу XIX века назрела необходимость обобщения всех достижений артиллерийской практики, создания артиллерийской науки, могущей разрешить вопросы, связанные с производством и применением различных видов оружия.

Основанное в 1820 г. Михайловское артиллерийское училище и затем Артиллерийская академия явилась тем центром, который был призван создавать отечественную артиллерийскую науку и готовить высококвалифицированные кадры артиллеристов. С Артиллерийской академией связана деятельность известного русского математика XIX века М. В. Остроградского; в Артиллерийской академии проявили свои таланты крупнейшие ученые-артиллеристы Н. В. Маиевский, В. А. Пашкевич, Н. А. Забудский и др.

В работах Артиллерийской академии значительное место занимали вопросы, связанные непосредственно со стрелковым оружием, с принципами его устройства, особенностями баллистики и т. д.

Ученые-артиллеристы, профессора Артиллерийской академии составляли учебные пособия для военных училищ. Такой учебник в 1872 г. был написан молодым талантливым артиллеристом Н. П. Потоцким, впоследствии заслуженным профессором Артиллерийской и Генерального штаба академий, при консультации и участии известного артиллериста В. Н. Шкларевича. В 1880 г. появился значительно переработанный учебник Н. П. Потоцкого «Современное ручное оружие». О качестве этого учебника можно судить хотя бы по тому, что он в короткое время выдержал пять изданий, был удостоен Михайловской премии (1881 г.), получил высокую оценку русской и иностранной прессы. Этот учебник был принят для обучения в военных училищах Франции, Испании и Румынии.

В 1890 г. артиллерист и математик, составитель многих учебных пособий С. А. Будаевский издал «Курс артиллерии» для военных училищ, который также был удостоен Михайловской премии и выдержал до 1916 г. двенадцать изданий.

Большой популярностью пользовался написанный В. А. Пашкевичем в 1882 г. «Курс артиллерии» для военных училищ и для поступающих в академии.

Таким образом, сведения о стрелковом оружии, или, как тогда называли, ручном оружии, были неотделимой частью общего курса артиллерии.

Все эти учебники, созданные артиллеристами для военных училищ, давали очень хорошие общетеоретические сведения, в них доступно излагались различные вопросы стрельбы, баллистики и основания устройства оружия. Но они обладали одним очень крупным недостатком: в них не уделялось должного внимания характерным особенностям баллистики стрелкового оружия и особенно правилам стрельбы.

Другим центром, создававшим учебные пособия, явилась основанная в 1857 г. Офицерская стрелковая школа. Одной из причин основания этой школы была необходимость поднятия уровня стрелкового дела, выявившаяся в итоге Крымской войны.

Офицерская стрелковая школа сыграла огромную роль в развитии стрелковой подготовки, выработке правил стрельбы из стрелкового оружия, изобретении учебных и боевых стрелковых приборов.

Как и во всяком учебном заведении, имеющем свой специфический профиль, в Школе появилась надобность в создании учебных пособий, особенно по стрелковому делу. Первым таким учебным пособием был «Курс о ручном огнестрельном оружии», составленный по лекциям, читанным в Офицерской стрелковой школе Островерховым и Ларионовым в 1858 и 1859 гг. Учебник был написан на теоретическом уровне того времени, однако он не был приспособлен к практическим нуждам Школы. Поэтому в 1864 г. в Школе был издан новый учебник, называвшийся «Теоретический курс о ручном оружии». Учебник был написан бывшим преподавателем Михайловского артиллерийского училища, заместителем начальника школы по теоретической части А. Вельяминовым-Зернювым. Курс был предназначен для офицеров, «готовящихся быть заведующими оружейными мастерскими и учителями по всем отраслям солдатского образования». В учебнике хорошо описаны правила осмотра оружия, его сбережения и хранения, снаряжения патронов и правила стрельбы из винтовок.

Впоследствии, в связи с неоднократными преобразованиями Школы, изменением ее профиля и местонахождения, в течение длительного времени новые учебники не появлялись. Обучение проводилось в основном по Наставлениям для обучения стрельбе. Наставления представляли собой краткие конечные положения баллистики и теории стрельбы, указания по обучению стрельбе и описание существовавших образцов оружия.

Подготовка наставлений и проверка изложенных в них практических указаний производились непосредственно в Школе. Впоследствии при Школе была создана опытная комиссия, члены которой привлекались к работе по мере необходимости. В комиссии был только один штатный работник — делопроизводитель. На эту должность и был назначен окончивший Артиллерийскую академию Николай Михайлович Филатов (1862—1935 гг.). Очень способный, теоретически хорошо подготовленный, знающий и любящий стрелко-

вое дело, Н. М. Филатов положил много сил для развития стрелкового дела. С его именем связано создание основ стрельбы из пехотного оружия и разработка широкого круга практических вопросов его боевого использования.

В 1897 г. Н. М. Филатов составил «Краткие записки по теории стрельбы» — учебное пособие для слушателей Офицерской стрелковой школы. Это было первое учебное пособие, касающееся исключительно стрелкового оружия, с учетом всех его особенностей. По замыслу «Краткие записки по теории стрельбы» должны были дать разъяснение тех конечных положений, которые изложены в Наставлении для обучения стрельбе; даже по своему построению книга соответствовала структуре Наставления. Однако благодаря большому опыту автора и его глубоким теоретическим знаниям содержание книги значительно расширилось, и она явилась первым учебным пособием, где теория была поставлена на службу стрелковой практике.

Н. М. Филатов явился организатором основанного в 1900 г. журнала «Вестник Офицерской стрелковой школы», в котором публиковались статьи по всем вопросам устройства и применения оружия, обучения стрельбе и правил стрельбы. Н. М. Филатов принимал в этом журнале активное участие, делясь своим опытом и давая консультации по разнообразнейшим вопросам, и фактически был первым его редактором. На страницах Вестника активно выступал и крупнейший специалист по автоматическому стрелковому оружию В. Г. Федоров.

В 1905 г. по предложению Н. М. Филатова был организован Ружейный полигон, явившийся первым подлинно научным центром по конструированию и испытанию стрелкового оружия. Н. М. Филатов был первым начальником этого полигона и отдавал этому делу все свои знания и опыт.

Впоследствии, будучи начальником Офицерской стрелковой школы, Н. М. Филатов уделял большое внимание внедрению автоматического оружия в войска. При Школе были организованы пулеметные офицерские курсы, производились опыты по созданию зенитной пулеметной установки.

Источником кипучей энергии Н. М. Филатова была его преданность своему народу, его большой, настоящий патриотизм. Поэтому Великую Октябрьскую революцию он принял без всяких колебаний и сразу же начал служить подлинному хозяину страны — народу. В 1918 г. Н. М. Филатов назначается начальником Высшей стрелковой школы, затем начальником Стрелково-тактического комитета. Н. М. Филатов много сил отдавал обучению командного состава молодой Красной Армии и оснащению ее стрелковым вооружением.

После Великой Октябрьской социалистической революции Н. М. Филатов пишет ряд статей и книг по стрелковому делу и работает над своим капитальным трудом «Основания стрельбы из ружей и пулеметов», который был закончен и издан в 1926 г. В этом труде нашли отражение весь огромный опытный материал, которым располагал автор, его глубокие теоретические знания и

большой педагогический опыт. Труд этот не предназначался как учебное пособие, но получил широкое распространение. В дальнейшем, после приведения в соответствие с программами пехотных училищ, под названием «Краткие сведения об основаниях стрельбы из винтовок и пулеметов» он выдержал восемь изданий и был единственным учебником для курсантов пехотных училищ.

В настоящее время пехота Советской Армии вооружена современной боевой техникой, обладает мощным огнем; существенно изменились ее боевые качества. Естественно, что это требует большой работы по дальнейшему изучению стрелкового дела применительно к развитию новых средств вооружения, по углублению теории стрельбы, по усовершенствованию ее практики.

Настоящее пособие разъясняет и дает обоснования тех положений, которые записаны в Наставлении по стрелковому делу — Основы стрельбы из стрелкового оружия.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОВРЕМЕННОМ ОРУЖИИ. СТРЕЛКОВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

В зависимости от способов воздействия на противника, оружие делится на **рукопашное** и **метательное.**

Рукопашным оружием поражение противнику наносится в непосредственной близости уколом, ударом и т. д. Метательное оружие применяется для нанесения противнику поражения на расстоянии. Современное метательное оружие — в основном огнестрельное (исключение составляют ручные гранаты и авиабомбы).

Огнестрельным называется оружие, при помощи которого поражение наносится противнику снарядами, выбрасываемыми энергией пороховых газов. Огнестрельное оружие делится на **стрелковое и артиллерийское.**

К стрелковому оружию относятся: пистолеты, револьверы, автоматы, карабины (индивидуальное оружие), ручные, станковые и крупнокалиберные пулеметы (групповое оружие).

Стрелковое оружие может быть **неавтоматическим** и **автоматическим.** В неавтоматическом оружии энергия пороховых газов используется только для сообщения пуле движения. В автоматическом оружии энергия пороховых газов используется, кроме того, для перезаряжания. Автоматическое оружие называется **самострельным,** если из него можно вести стрельбу очередями и непрерывный огонь, и **самозарядным,** если из него можно вести стрельбу только одиночными выстрелами.

Основными элементами огнестрельного оружия являются **ствол, снаряд** и **боевой** (пороховой) **заряд.**

Ствол (рис. 1) огнестрельного оружия представляет собой прочную стальную трубу. Он выполняет три функции: 1) служит для направления полета снаряда; 2) представляет собой камеру, в которой происходит сгорание боевого (порохового) заряда; образующиеся при этом газы сообщают снаряду требуемую скорость поступательного движения; 3) придает снаряду вращательное движение вокруг своей оси для обеспечения устойчивости его полета в воздухе. В стрелковом нарезном оружии ствол выполняет все три функции, в минометах — только первые две, а в некоторых реактивных системах — только первую (поэтому реактивное оружие мо-

жет быть и без ствола, он заменен направляющей, не имеющей формы трубы).

Ствол стрелкового оружия имеет казенную, среднюю и дульную части. Дульная часть оканчивается дульным срезом, а казенная — казенным срезом.

Внутренняя полость ствола называется **каналом ствола.**

Воображаемая прямая линия, проходящая посредине **канала,** называется **осью канала ствола.**

Ствол нарезного оружия имеет внутри **патронник,** служащий для помещения патрона, **пульный вход** — для помещения снаряда и обеспечения постепенного врезания его в нарезы и **нарезную часть** — для

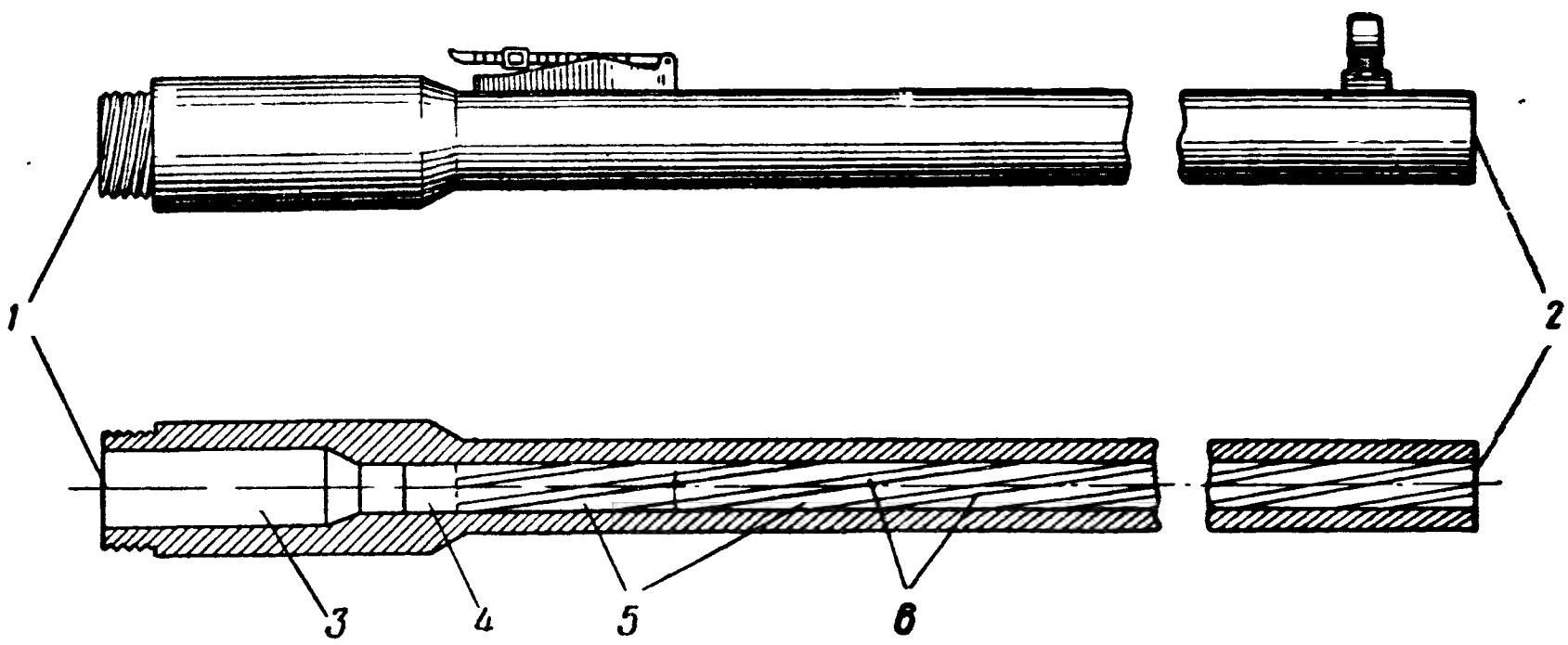


Рис. 1. Ствол стрелкового оружия:
1 — казенный срез; *2* — дульный срез; *3* — патронник; *4* — пульный вход; *5* — нарезы; *6* — поля

придания снаряду вращательного движения. Стенки нарезной части канала ствола имеют желобки (канавки), идущие по винтовой линии, называемые **нарезами,** и выступы между ними — **поля.** Каждый нарез имеет дно и две боковые грани. Одна из граней нарезов является ведущей, она испытывает большее давление со стороны тела пули. Ведущая грань называется **боевой,** а противоположная — **холостой** гранью. Стволы всего нарезного оружия, состоящего на вооружении Советской Армии, имеют нарезы, вьющиеся слева вверх направо (правую нарезку).

Скорость вращательного движения снаряда вокруг своей оси зависит от крутизны нарезки, которая характеризуется длиной хода нарезов. **Длина хода нарезов** — это расстояние, на котором нарез делает один полный оборот. Чем меньше длина хода нарезов, т. е. чем круче нарезка, тем больше скорость вращательного движения снаряда вокруг своей оси. В стрелковом оружии Советской Армии (кроме крупнокалиберных пулеметов) длина хода нарезов — 240 *мм.*

Калибр оружия определяется диаметром ствола, измеренным между противоположными полями (рис. 2).

Основной калибр стрелкового оружия Советской Армии 7,62 *мм,* имеется также оружие калибра 9 *мм,* 12,7 *мм* и 14,5 *мм.* От ка-

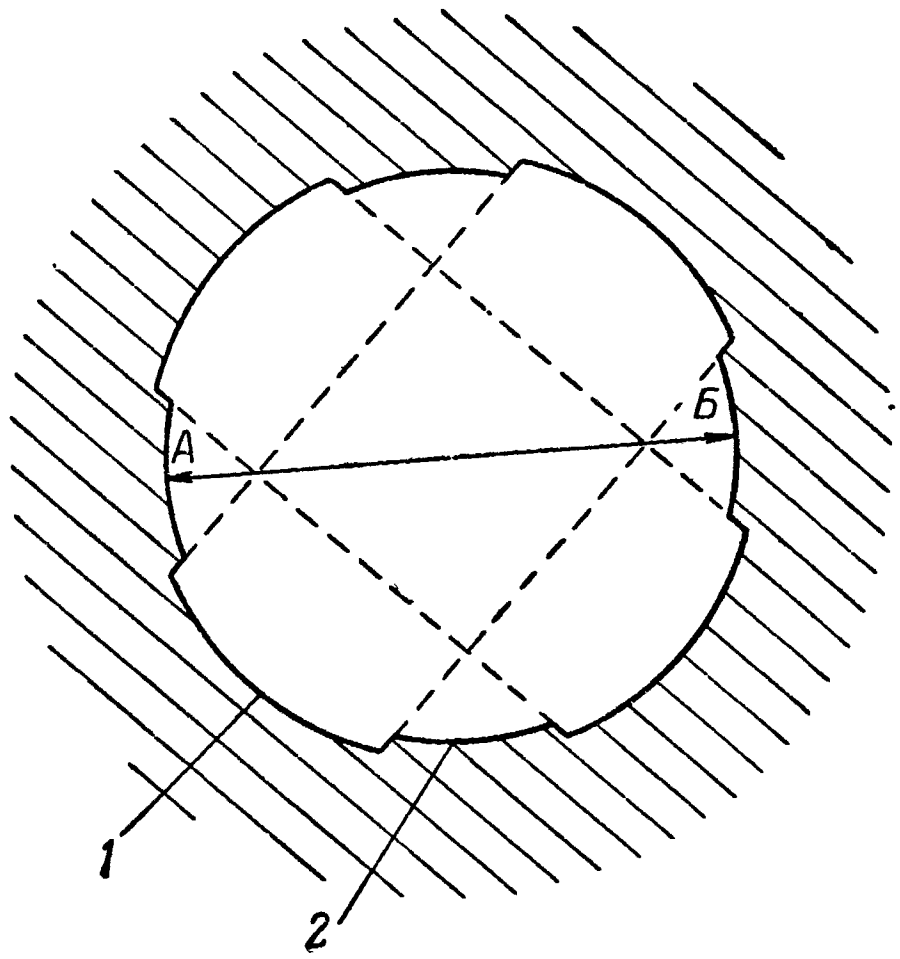


Рис. 2. Калибр оружия:
1 — нарез; *2* — поле; *АБ* — калибр

либра зависит и количество нарезов. Так, оружие калибра 7,62 *мм* имеет четыре нареза, пулеметы калибра 14,5 *мм* — восемь нарезов. Очень часто калибр используется и как мера длины. В калибрах измеряется длина ствола, длина нарезной части ствола, длина хода нарезов, длина снаряда и т. д.

Ствол 82-*мм* миномета представляет собой гладкостенную трубу с навинченным на нее казенником, в котором помещается боек, служащий для производства выстрела. Калибр минометов определяется внутренним диаметром ствола. Так как минометы не имеют нарезов, мины при полете не вращаются; устойчивость мин при полете обеспечивается их хвостовым оперением.

Снаряд непосредственно наносит поражение противнику всей своей массой или осколками своего корпуса, образующимися при взрыве взрывчатого вещества, помещенного в нем. В зависимости от назначения снаряды имеют различное устройство.

Снаряд стрелкового оружия называется **пулей.** Характерным признаком пули, отличающим ее от артиллерийского снаряда, является отсутствие специального ведущего пояска. Пуля делится на три части (рис. 3): головную (оживальную), ведущую и хвостовую. Общая длина современных пуль — около пяти калибров: головная часть — 2,5—3,5 калибра, ведущая — 1—1,5 калибра, хвостовая — 0,5—1 калибр. Пуля состоит из сердечника, устройство которого зависит от назначения пули, и оболочки, изготовляемой для современных пуль из стали, плакированной томпаком (т. е. покрытой слоем из сплава меди и цинка).

По своему назначению пули делятся на **обыкновенные** и **специального назначения.**

Обыкновенные пули предназначены для поражения живых открытых и скрытых за легкими закрытиями целей. Сердечник обыкновенных пуль может быть свинцовый с примесью сурьмы или стальной.

Пули специального назначения подразделяются на бронебойные, трассирующие, зажигательные, бронебойно-зажигательные, пристрелочно-зажигательные и бронебойно-зажигательно-трассирующие.

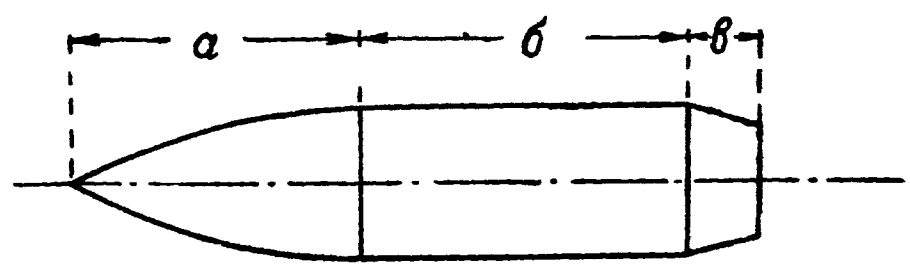


Рис. 3. Пуля:
а — головная часть; *б* — ведущая часть; *в* — хвостовая часть

Боевой (пороховой) **заряд** служит для придания снаряду (пуле) поступательного движения. Заряд изготовляется из пороха. Вес заряда зависит от калибра и назначения снаряда. Так, для пули пистолета обр. 1933 г. вес заряда составляет 0,6 *г*, для винтовочной пули обр. 1908 г.— 3,25 *г*, для пули 14,5-*мм* пулемета — 30,0 *г*.

Для воспламенения боевого заряда служит ударный состав капсюля (инициирующее взрывчатое вещество).

С помощью гильзы снаряд (пуля), боевой (пороховой) заряд и капсюль соединены в одно целое — унитарный патрон (рис. 4). Кроме того, гильза предохраняет боевой заряд от влияния внешних условий и не допускает прорыва газов из канала ствола через казенную часть.

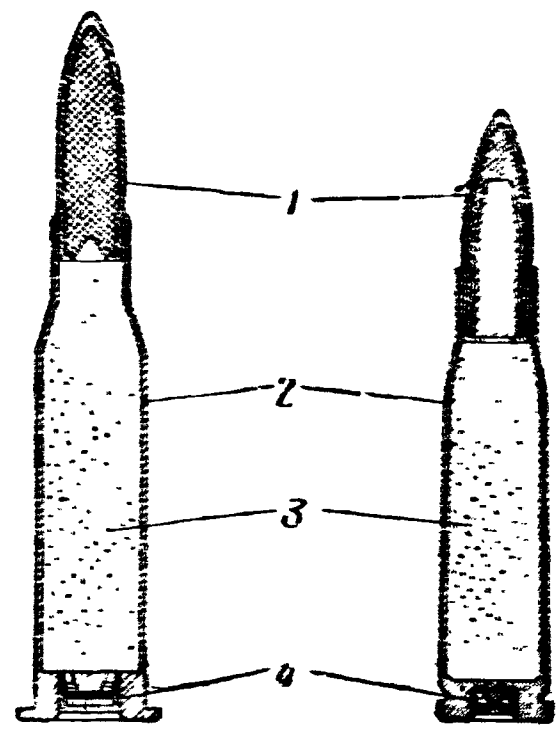


Рис. 4. Унитарный патрон:
1 — пуля; *2* — гильза; *3* — пороховой заряд; *4* — капсюль

Патроны стрелкового оружия делятся на боевые и вспомогательные. К боевым относятся патроны с обыкновенными и специальными пулями, к вспомогательным — учебные, холостые и малокалиберные патроны.

Стрельба из минометов ведется **минами**. К 82-*мм* миномету имеются осколочные, дымовые и другие специальные мины. Оско-

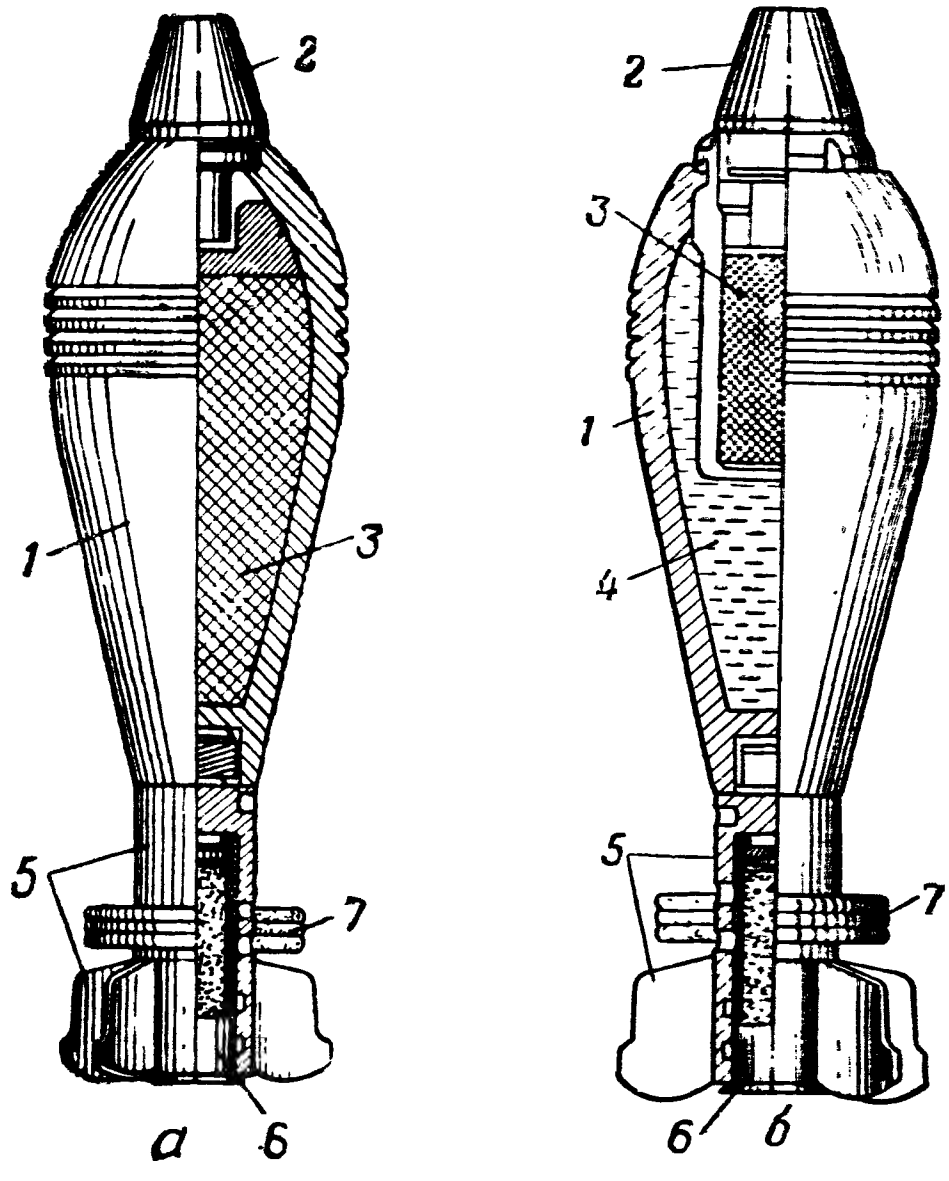


Рис. 5. 82-*мм* мина:
а — осколочная мина; *б* — дымовая мина; *1* — корпус; *2* — взрыватель; *3* — разрывной заряд; *4* — дымообразующее вещество; *5* — стабилизатор; *6* — основной заряд; *7* — дополнительные заряды

лочные мины предназначены для поражения живой силы и огневых средств противника осколками корпуса мины, образующимися при ее взрыве под действием разрывного заряда. Дымовые мины предназначены для ослепления (задымления) наблюдательных и командных пунктов и огневых средств противника, а также для облегчения пристрелки и целеуказания.

82-*мм* мина (рис. 5) состоит из **корпуса,** снаряженного дробящим взрывчатым веществом — разрывным зарядом; в корпусе дымовых мин, кроме разрывного заряда, помещается и дымообразующее вещество (желтый фосфор); **взрывателя** ударного (мгновенного) действия, служащего для обеспечения разрыва мины у цели; **стабилизатора,** предназначенного для обеспечения устойчивости мины на полете; **основного заряда** в виде хвостового патрона, помещенного в трубке стабилизатора; **дополнительных зарядов** в форме колец, помещаемых на трубке стабилизатора.

Разделение заряда на основной и дополнительные позволяет изменять величину боевого заряда и тем самым изменять начальную скорость мины.

ГЛАВА II

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

1. ЯВЛЕНИЕ ВЗРЫВА

Взрывом вообще называется чрезвычайно быстрое изменение состояния вещества, сопровождающееся столь же быстрым превращением его потенциальной энергии в механическую работу движения или разрушения. При взрыве происходит резкое и внезапное повышение давления в среде, окружающей место взрыва. Внешними отличительными признаками взрыва являются: значительный звук, сотрясение среды и зачастую вспышки света.

Наиболее распространенным видом взрыва является взрыв, получающийся вследствие быстрого химического превращения вещества. Однако исходным видом энергии для взрыва может быть также электрическая, атомная, тепловая и кинетическая энергия.

Взрывчатыми веществами (ВВ) называются такие химические соединения и смеси, которые способны под влиянием внешних воздействий (удара, луча пламени, трения и т. д.) к очень быстрым химическим превращениям, сопровождающимся выделением тепла и образованием большого количества сильно нагретых газов, способных производить работу метания или разрушения.

Характерными отличительными признаками взрыва являются:

1. **Очень большая скорость превращения,** измеряемая промежутками от сотых до миллионных долей секунды. Например, взрыв 1 *кг* динамита происходит в течение 0,00002 сек., взрыв 400-граммовой толовой шашки — в 0,00001 сек. Такое чрезвычайно быстрое превращение приводит к тому, что мощность взрывчатых веществ во много раз превосходит мощность других источников энергии (горючих веществ), несмотря на то, что запас энергии во взрывчатых веществах зачастую меньший. Так, например, 1 *кг* дымного пороха — одного из самых слабых взрывчатых веществ — при условии превращения всего тепла в работу развил бы мощность около 20 млн. *л. с.*, а 1 *кг* тротила — около 55 млн. *л. с.* Машин, способных развить такую колоссальную мощность, не существует.

2. **Выделение большого количества тепла** (экзотермичность), приводящее к созданию высокого давления в месте взрыва и, следовательно, обусловливающее способность производить механическую работу. Так, 1 литр (*л*) нитроглицерина при взрыве выделяет 2400 больших калорий, развивая температуру газов до 3800°.

3. **Наличие большого количества газообразных продуктов взрыва.** Благодаря высокой температуре газов и способности их к расширению тепловая энергия превращается в механическую работу. О количестве выделяемых при взрыве газообразных продуктов можно судить по следующим цифрам: 1 *л* пироксилина дает при взрыве 994 *л* газообразных продуктов, 1 *л* тротила — 1104 *л*, т. е. в среднем 1 *л* взрывчатого вещества при взрыве дает 1000 *л* газообразных продуктов.

Скорость взрывчатого превращения зависит от состава взрывчатого вещества, способа возбуждения взрыва (механический, термический, электрический) и от условий взрыва (количество взрывчатого вещества, давление, температура). В зависимости от скорости процесса взрывчатые превращения могут происходить в двух основных формах: горение и детонация.

Горение происходит со скоростью от долей миллиметра до нескольких десятков метров в секунду; например, дымный порох на открытом воздухе горит со скоростью около 10 *мм/сек.* На открытом воздухе этот процесс происходит без значительного звукового эффекта. В закрытом объеме скорость увеличивается и процесс сопровождается резким звуком; горение характеризуется постепенным нарастанием давления газов и способностью их производить механическую работу по перемещению и метанию предметов в сторону наименьшего сопротивления. Таким процессом является выстрел, при котором происходит выбрасывание снаряда из канала ствола оружия под действием давления газов, образовавшихся при горении взрывчатого вещества.

Детонация протекает со скоростью, достигающей нескольких тысяч метров в секунду. Она характеризуется резким скачком давления в месте взрыва, в результате чего образующиеся газы производят работу по разрушению, раскалыванию, дроблению окружающих предметов. Примером детонации является взрыв разрывного заряда в артиллерийском снаряде. Взрывчатое вещество гексоген детонирует со скоростью порядка 8400 *м/сек.*

Между горением и детонацией существуют и промежуточные формы взрывчатых превращений, происходящих с переменной скоростью (до нескольких сотен метров в секунду), зависящей от внешнего давления. При достаточно высоком давлении горение может переходить в детонацию. Детонировать могут все взрывчатые вещества, но лишь небольшая часть их (инициирующие) детонирует от механического или теплового импульса. Большинство же взрывчатых веществ детонирует только в том случае, если в непосредственной близости с ними произошла детонация другого взрывчатого вещества. Взрывчатое вещество, способное вызвать детонацию другого взрывчатого вещества, называется **детонатором.**

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ИХ ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ

Все взрывчатые вещества по своему практическому применению делятся на четыре большие группы:

1) инициирующие взрывчатые вещества,
2) дробящие взрывчатые вещества,
3) метательные взрывчатые вещества (пороха),
4) пиротехнические составы.

Инициирующие взрывчатые вещества

Инициирующие взрывчатые вещества наиболее чувствительны к внешним воздействиям; они легко детонируют от незначительного удара, луча пламени, трения и т. д. Основным свойством их является инициирующая способность, т. е. способность возбуждать детонацию других взрывчатых веществ. Инициирующие взрывчатые вещества применяются для снаряжения капсюлей-воспламенителей, капсюлей-детонаторов и детонирующего шнура. Основными представителями инициирующих взрывчатых веществ являются: **гремучая ртуть, азид свинца, стифнат свинца** и др.

Для снаряжения капсюлей-воспламенителей патронов изготовляются ударные составы, состоящие из смеси гремучей ртути, бертолетовой соли и антимония в различных пропорциях применительно к условиям использования.

От качества капсюля-воспламенителя, его мощности и чувствительности в большой мере зависит безотказное действие боевого патрона. Недостаточная мощность капсюля-воспламенителя может привести к тому, что при его воспламенении нагреются только ближайшие слои порохового заряда, а последующие слои получат от них тепло только через некоторый промежуток времени, т. е. произойдет затяжной выстрел.

Дробящие взрывчатые вещества

Основной формой взрывчатого превращения для дробящих взрывчатых веществ является детонация. Эта группа взрывчатых веществ широко применяется в качестве разрывных зарядов артиллерийских снарядов, мин и гранат, а также используется при взрывных работах.

Дробящие взрывчатые вещества обладают значительно меньшей чувствительностью, чем инициирующие, и обычно детонируют под воздействием последних.

Основные представители дробящих взрывчатых веществ: **тротил, пикриновая кислота, тетрил, гексоген** и др. Так, например, разрывной заряд 82-*мм* мины изготовляется из чистого тротила или сплава тротила с другими взрывчатыми веществами (тротил с динитронафталином), разрывной заряд ручных гранат — из тротила или аммонала.

Метательные взрывчатые вещества (пороха)

Основной формой взрывчатого превращения для метательных взрывчатых веществ (порохов) является горение, дающее возможность производить метание предметов в сторону наименьшего сопротивления. Большая часть тепловой энергии, образующейся при горении пороха, превращается в механическую энергию, используемую для метания снарядов в огнестрельном оружии.

Пороха делятся на **дымные** и **бездымные.**

Дымные пороха представляют собой механическую смесь 75% селитры, 10% серы и 15% древесного угля. Такой процентный состав наиболее выгоден, так как обеспечивается почти полное сгорание угля. Уголь является горючим веществом, селитра при разложении дает кислород, необходимый для горения угля, сера обеспечивает легкую воспламеняемость и служит связывающим веществом при изготовлении пороха.

Само название «дымные» говорит о том, что при горении эти пороха выделяют большое количество дыма, т. е. твердых продуктов горения (до 50%). Дымные пороха по своему действию значительно слабее современных бездымных порохов. Поэтому при стрельбе в качестве боевого заряда дымные пороха давно уже не применяются. В военном деле дымные пороха применяются в качестве воспламенителей (для облегчения воспламенения бездымного пороха), дистанционного состава в трубках и взрывателях, горючего состава огнепроводного шнура.

Основой бездымных порохов является пироксилин — дробящее взрывчатое вещество, получаемое в результате обработки растительной клетчатки смесью азотной и серной кислот. Пироксилин, обладая хорошими взрывчатыми свойствами, легко желатинизируется (обращается в студенистую массу) под действием различных растворителей. В зависимости от примененного растворителя, различают пироксилиновые и нитроглицериновые пороха.

Для приготовления пироксилинового пороха применяются: пироксилин № 1 (высокоазотный, содержащий от 12,9 до 13,3% азота) в смеси с пироксилином № 2 (низкоазотный, содержащий от 11,9 до 12,3% азота) или пироколлодий (12,5—12,75% азота), или только пироксилин № 2. В качестве растворителя служит не обладающая взрывчатыми свойствами спирто-эфирная смесь.

Нитроглицериновый порох изготовляется из пироксилина № 2, растворяемого в нитроглицерине (баллиститы), или из пироксилина № 1, растворяемого в нитроглицерине с примесью ацетона (кордиты). В готовом нитроглицериновом порохе содержится 25—60% нитроглицерина, который также является сильным взрывчатым веществом, а следовательно, и источником энергии. Нитроглицериновые пороха мощнее пироксилиновых, но при горении развивают значительно более высокую температуру, что снижает живучесть стволов.

При длительном хранении пороха могут терять свои свойства. Для обеспечения устойчивости свойств пороха в них добавляются особые вещества — стабилизаторы (дифениламин).

Зерна бездымного пороха, в зависимости от его назначения, могут иметь различную форму: куб, пластинка, лента, трубка с одним каналом, трубка с семью каналами и т. д. (рис. 6).

Форма зерен пороха имеет очень важное значение для характера нарастания давления при выстреле.

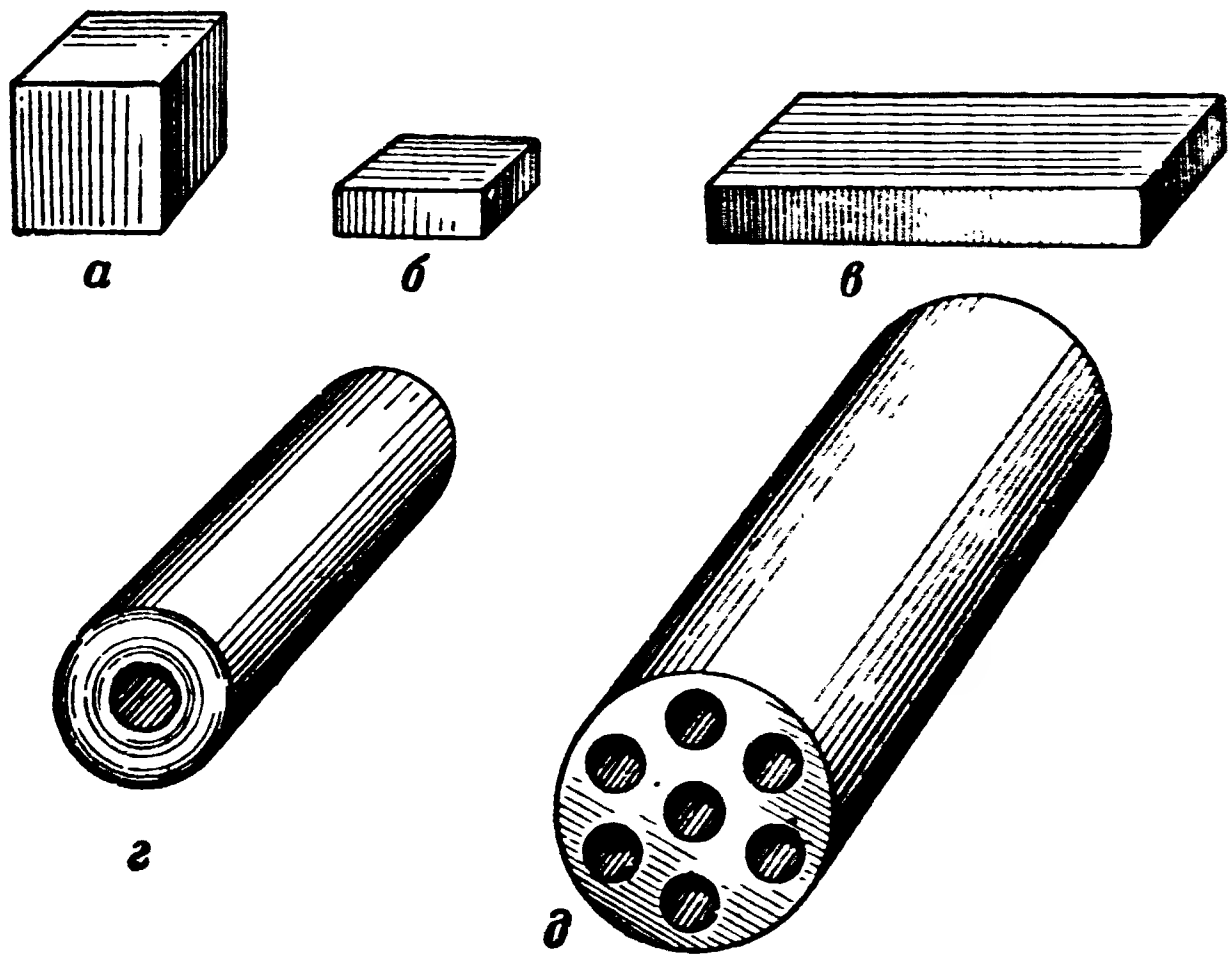


Рис. 6. Форма зерен бездымного пороха:
а — куб; *б* — пластинка; *в* — лента; *г* — трубка с одним каналом; *д* — трубка с семью каналами

Все существующие виды порохов обозначают условными знаками (буквами, цифрами) — маркируют. При маркировке обозначается: форма зерна, назначение, размеры, партия, год изготовления, завод-изготовитель.

Пиротехнические составы

Пиротехнические составы представляют собой смеси горючих веществ (магния, фосфора и др.), окислителей (хлоратов, пикратов и др.) и цементаторов (шеллака, канифоли и др.). Взрывчатые свойства у пиротехнических составов очень слабо выражены, однако при определенных условиях и они способны детонировать. Пиротехнические составы применяются для создания требуемых пиротехнических эффектов. Они делятся на осветительные, сигнальные, трассирующие и зажигательные.

Осветительные и сигнальные пиротехнические составы применяются в качестве заряда патронов для 26-*мм* сигнального пистолета и других сигнальных и осветительных средств. Трассирующие и зажигательные составы применяются для изготовления специальных пуль (трассирующих, зажигательных и т д.).

ГЛАВА III

СВЕДЕНИЯ ИЗ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

Баллистика — наука о движении снаряда. В настоящее время баллистика делится на две самостоятельные науки: **внутреннюю баллистику** и **внешнюю баллистику.**

Задачей внутренней баллистики является изучение движения снаряда в канале ствола и явлений, при этом происходящих. Задача внешней баллистики состоит в изучении полета снаряда в воздухе.

Внутренняя баллистика исследует величину давления пороховых газов и изменение скорости снаряда в стволе оружия, определяет наиболее выгодные данные канала ствола (длину канала, объем зарядной каморы) и условия заряжания (вес заряда, размеры и форму пороха) для того, чтобы снаряду заданного веса и калибра сообщить требуемую начальную скорость при определенной величине наибольшего давления газов.

1. ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ ПОРОХА

При воздействии на пороховое зерно внешнего (теплового) импульса оно начинает гореть. Процесс горения пороха разделяют на три фазы: зажжение, воспламенение и собственно горение (рис. 7).

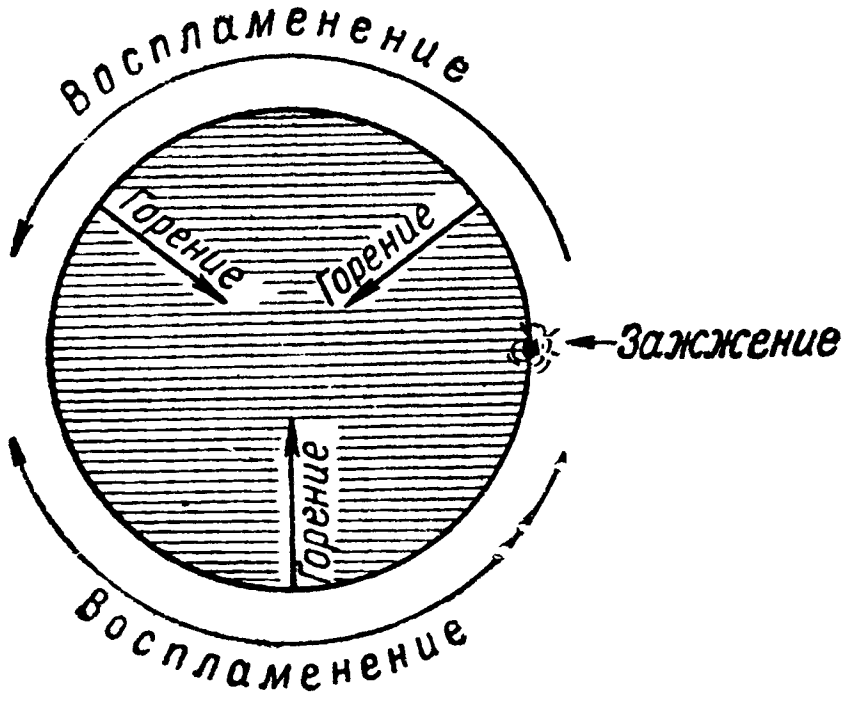


Рис. 7. Фазы горения пороха

Зажжение — начало разложения порохового зерна в одной или нескольких точках под воздействием внешнего импульса. Для зажжения боевого заряда таким внешним импульсом является действие раскаленных газов, образующихся при воспламенении ударного состава капсюля (инициирующего взрывчатого вещества) от удара бойка.

Воспламенение — распространение пламени по поверхности порохового зерна. Воспламенение

протекает с различной скоростью в зависимости от свойств пороха и внешнего давления. При нормальном атмосферном давлении скорость воспламенения дымного пороха 1—3 *м/сек*, при повышении давления она возрастает в несколько раз. Бездымный порох на открытом воздухе воспламеняется очень медленно, со скоростью 2—5 *м/сек*, однако при повышении давления скорость воспламенения бездымного пороха резко увеличивается, уже при давлении 10—20 *кг/см²* скорость его воспламенения можно считать мгновенной.

Для обеспечения одновременного воспламенения всего порохового заряда необходимо, чтобы давление внутри гильзы, созданное воспламенением ударного состава капсюля, превышало 20 *кг/см²*, что и осуществлено в боевых патронах. При неодновременном воспламенении всех зерен порохового заряда может произойти затяжной выстрел. Кроме того, часть пороха может вообще не сгореть до момента вылета снаряда из канала ствола; эта часть пороха, следовательно, не примет участия в сообщении снаряду энергии, вследствие чего уменьшится начальная скорость снаряда, и дальность его полета будет меньше.

Собственно горение — распространение реакции разложения в глубь порохового зерна перпендикулярно к его поверхности. Следовательно, скорость горения определяется изменением наименьшего размера (толщины) порохового зерна в единицу времени.

Скорость горения пороха является очень важной баллистической характеристикой. Опытным путем установлено, что скорость горения пороха зависит от его состава, плотности порохового вещества, внешнего давления, температуры и влажности пороха. Рассмотрим влияние указанных факторов на скорость горения пороха.

Состав пороха. Порох различного состава при прочих одинаковых условиях обладает различной скоростью горения. Так, пороха с бóльшим содержанием пироксилина № 1 или нитроглицерина горят быстрее, пороха с бóльшим содержанием пироксилина № 2 горят медленнее. При необходимости уменьшить скорость горения пороха в его состав вводятся флегматизаторы (камфора, вазелин); чем больше флегматизатора в порохе, тем меньше скорость его горения.

Плотность порохового вещества. Чем больше плотность порохового зерна, тем меньше скорость его горения. Для получения быстрогорящих порохов зерна делают пористыми; чем больше пор, тем легче пламя проникает в глубь зерна, тем быстрее горит порох. Плотность (удельный вес) современных бездымных порохов составляет 1,56—1,63 *кг/дм³*.

Внешнее давление. С повышением давления в окружающей среде скорость горения пороха увеличивается. Так, на открытом воздухе дымный порох горит со скоростью около 10 *мм/сек*, а с увеличением давления скорость горения его резко возрастает; скорость горения бездымного пороха на открытом воздухе 0,8—1,5 *мм/сек*, а в закрытом объеме уже при давлении 500 *кг/см²*

достигает 50 *мм/сек* и далее увеличивается прямо пропорционально увеличению давления. При выстреле, следовательно, горение заряда будет происходить с очень большой скоростью.

Давление пороховых газов связано с плотностью заряжания.

Плотностью заряжания Δ называется отношение веса порохового заряда ω к объему зарядной каморы W (гильзы при вставленной пуле):

$$\Delta = \frac{\omega}{W}. \qquad (1)$$

Для стрелкового оружия плотность заряжания $\Delta = 0{,}80$—$0{,}90$ *кг/дм*³.

Для минометов плотностью заряжания называют отношение веса основного и дополнительных зарядов к объему зарядной каморы; за объем зарядной каморы принимается объем казенной части ствола до уровня наибольшего диаметра опущенной в ствол мины. Для 82-*мм* минометов плотность заряжания изменяется в зависимости от количества дополнительных зарядов; при максимальном заряде для минометов $\Delta = 0{,}06$ *кг/дм*³.

Изменение плотности заряжания для каждого вида оружия допускается в очень небольших пределах. При увеличении плотности заряжания образовавшиеся газы создают большее давление, благодаря чему скорость горения пороха увеличивается. Чрезмерное увеличение плотности заряжания может вызвать скачок давления, приводящий к раздутию или разрыву ствола. Поэтому, во избежание несчастных случаев, при стрельбе из стрелкового оружия нельзя использовать патроны с слишком глубоко посаженными пулями.

Уменьшение плотности заряжания приводит к замедлению горения пороха.

Температура пороха. Чем выше температура порохового заряда, тем скорость горения пороха больше, так как уменьшается расход тепла на нагревание пороха и сама реакция разложения протекает интенсивнее. Соответственно, чем ниже температура заряда, тем скорость его горения будет меньше. Поэтому необходимо, чтобы перед стрельбой боеприпасы находились в одинаковых температурных условиях, так как различие в температуре зарядов, обусловливая различную скорость горения пороха, а следовательно, и различную начальную скорость снарядов, приводит к увеличению рассеивания, т. е. к ухудшению меткости стрельбы.

Влажность пороха. Чем влажность выше, тем порох горит медленнее, так как часть тепловой энергии используется для превращения воды в пар. При значительной влажности порох вообще теряет свои взрывные свойства. Поэтому необходимо тщательно предохранять боевые заряды от сырости. Особенно это относится к дополнительным зарядам к 82-*мм* мине.

Количество пороховых газов, выделяемых при горении пороха, и быстрота газообразования зависят от формы и размеров зерен пороха.

При рассмотрении процесса горения пороха во внутренней баллистике приняты следующие допущения:

— все зерна порохового заряда однородны по составу, размерам и форме;

— воспламенение порохового заряда происходит мгновенно;

— пороховое зерно горит параллельными слоями с одинаковой скоростью со всех сторон (рис. 8).

Эти положения дают возможность рассматривать процесс горения только для одного порохового зерна и делать выводы для всего порохового заряда.

В зависимости от характера изменения поверхности горения пороха подразделяются следующим образом:

а) **Пороха дегрессивной формы** — такие пороха, поверхность зерен которых по мере их сгорания все время уменьшается. Приток газов в единицу времени у таких порохов уменьшается по мере сгорания зерен. Вначале они дают скачок давления, затем оно быстро падает по мере продвижения снаряда по каналу ствола. К ним относятся пороха, зерна которых имеют форму куба, пластинки, ленты (см. рис. 8).

б) **Пороха с постоянной поверхностью горения** — такие пороха, поверхность зерен которых при горении остается постоянной, а следовательно, и приток газов в единицу времени не изменяется. К ним относятся пороха, имеющие зерна в форме трубки с одним каналом (см. рис. 8). Горение происходит одновременно по внешней и внутренней поверхности трубки. Внешняя поверхность уменьшается, а внутренняя увеличивается. Общая поверхность остается почти неизменной.

в) **Пороха прогрессивной формы** — такие пороха, поверхность зерен которых при горении увеличивается. К ним относятся пороха, имеющие зерна, например, в форме семиканальной трубки (см. рис. 8). При горении такого зерна поверхность каналов увеличивается, что и создает общее увеличение поверхности порохового зерна. А это приводит и к увеличению притока газов в единицу времени. Но увеличение горящей поверхности происходит только до момента распада порохового зерна, после чего образовавшиеся призмочки догорают, как порох дегрессивной формы.

Прогрессивность горения может быть достигнута также бронированием внешней поверхности зерен пороха, т. е. покрытием их специальными составами, препятствующими воспламенению с внешней поверхности. Применение прогрессивных порохов, дающих с течением времени все больший приток газов, обеспечивает наиболее равномерное давление в канале ствола.

Применение порохов той или иной формы зависит от вида огнестрельного оружия и его конструктивных особенностей. Форма порохов, применяемых для стрелкового оружия, в большой мере зависит от длины ствола; для длинноствольного оружия (карабин, пулемет) применяется флегматизированный пироксилиновый порох, зерна которого имеют форму трубки с одним каналом; для коротконствольного оружия (пистолеты) — пироксилиновый порох, имею-

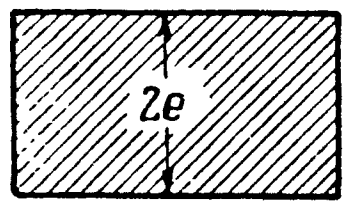
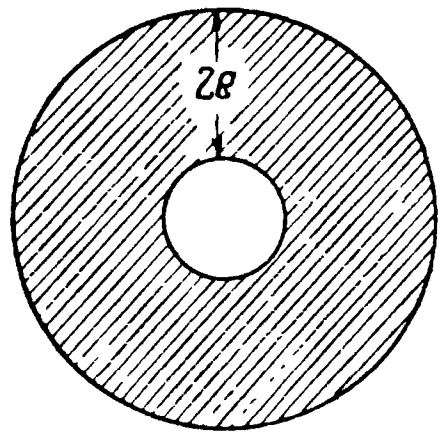
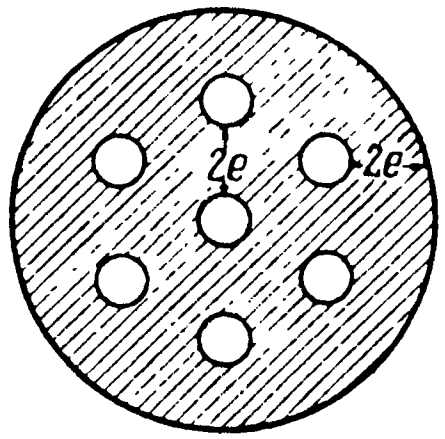
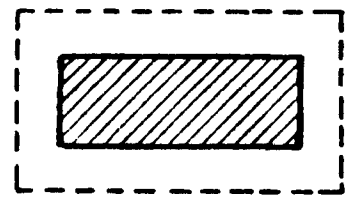
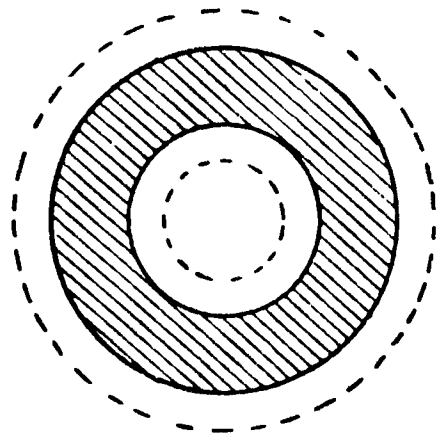
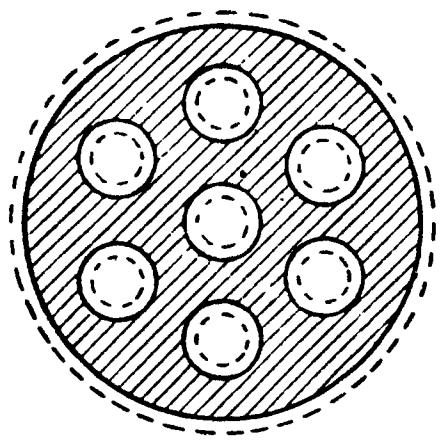
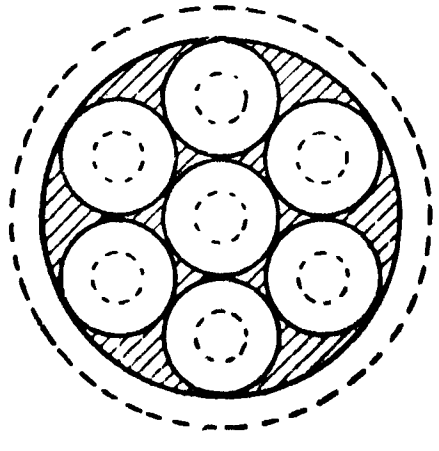
До начала горения			
Зерно прогорело на толщину $\frac{e}{2}$			
Зерно прогорело на толщину e	*Полное сгорание*	*Полное сгорание*	

Рис. 8. Горение порохового зерна:
2e — толщина свода зерна пороха

щий зерна в форме тонкой пластинки; при применении такого пороха обеспечивается быстрое его сгорание и резкое нарастание давления. Для 82-*мм* минометов применяются пластинчатые нитроглицериновые пороха.

2. ЯВЛЕНИЕ ВЫСТРЕЛА

Выстрел представляет собой процесс очень быстрого превращения химической энергии пороха сначала в тепловую, а затем в кинетическую энергию движения оружия (системы снаряд — заряд — ствол).

Явление выстрела характеризуется следующими особенностями:

— большой величиной давления газов (2—3 тысячи и более атмосфер);

— высокой температурой пороховых газов (2500—3500°);

— малой продолжительностью явления (0,001—0,06 сек.);

— горением порохового заряда в быстро изменяющемся объеме.

Рассмотрим, как происходит выстрел при стрельбе из стрелкового оружия.

Для производства выстрела необходимо дослать в патронник боевой патрон, надежно запереть канал ствола затвором и нажать на спусковой крючок. При нажатии на спусковой крючок под действием ударно-спускового механизма ударник (курок) бойком наносит удар по капсюлю патрона. От этого удара (внешнего импульса) ударный состав капсюля воспламеняется, луч огня через затравочные отверстия проникает внутрь гильзы, возбуждая горение порохового заряда.

Во время горения порохового заряда образуются газы, количество которых увеличивается, а следовательно, увеличивается и давление. Газы распространяются во все стороны и, стремясь расшириться, давят на стенки гильзы, дно ее и на пулю. Давление газов на дно гильзы заставляет ее прижиматься к чашечке затвора, давление на стенки гильзы заставляет их плотно прижиматься к стенкам патронника, предотвращая прорыв газов назад, а давление на пулю заставляет ее врезаться в нарезы ствола. Таким образом, вначале идет нарастание давления газов в постоянном объеме до величины, необходимой для полного врезания пули в нарезы. Это давление называется **давлением форсирования** P_0. Для стрелкового оружия оно достигает 250—500 *кг/см*^{2}.

Период явления выстрела, в котором происходит горение порохового заряда в постоянном объеме и нарастание давления до P_0, называется **предварительным периодом** (рис. 9).

Далее следует **первый**, или **основной, период** явления выстрела, в течение которого происходит горение порохового заряда в быстро изменяющемся объеме. Этот период длится от момента, когда достигнуто давление форсирования, до полного сгорания порохового заряда. Пуля под давлением непрерывно возрастающего количества пороховых газов начинает движение в канале ствола. Давление

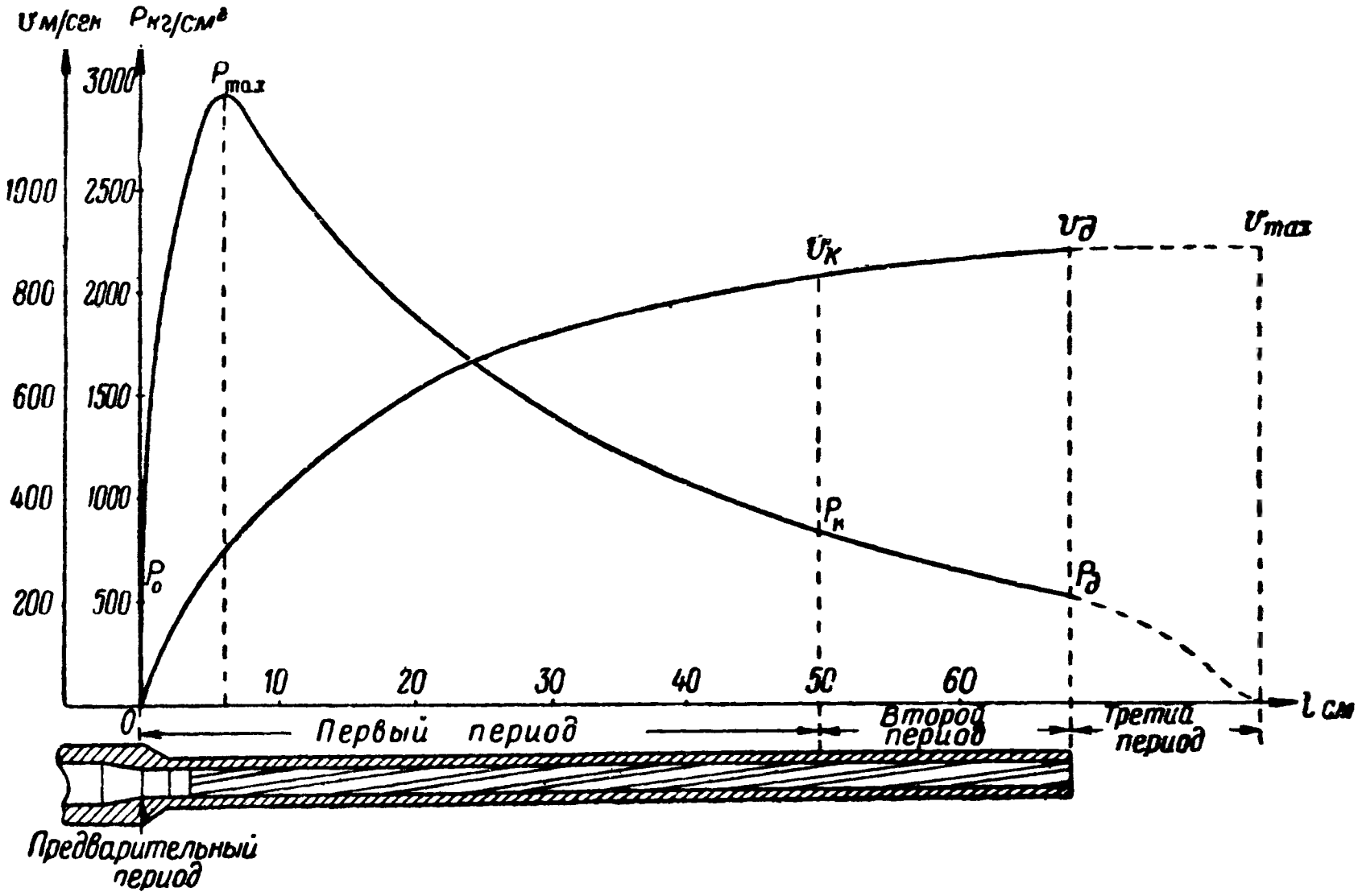


Рис. 9. Периоды выстрела, кривые давления и скорости движения пули

в первом периоде быстро повышается, достигая максимума P_{max}, так как в первый промежуток времени быстрое нарастание количества газов идет при относительно медленном увеличении объема запульного пространства. Для стрелкового оружия максимальное давление достигает 2500—4000 *кг/см²*. (В винтовке максимальное давление развивается при прохождении пулей 4—6 *см* пути.) Однако большое давление вызывает значительное ускорение движения пули в канале ствола, т. е. значительное увеличение запульного пространства. Поэтому, несмотря на приток новых газов, давление начинает падать, достигая в конце горения порохового заряда значения $P_к$, а скорость пули все время возрастает до значения $v_к$.

После окончания горения порохового заряда приток новых газов прекращается, но так как газы обладают большим запасом энергии, то продолжается их расширение и вследствие этого увеличение скорости движения пули. Это — **второй период** явления выстрела, в котором пуля движется под действием постоянного количества свободно расширяющихся газов; он длится от конца горения порохового заряда до момента вылета пули из канала ствола. В этот период давление продолжает убывать до значения $P_д$, а скорость пули все еще возрастает до $v_д$. Для стрелкового оружия $P_д = 200—600$ *кг/см²*.

В стрелковом оружии полное сгорание порохового заряда происходит к тому моменту, когда пуля находится близко к дульному срезу; в системах с короткими стволами (пистолеты) полного сгорания порохового заряда вообще не происходит, т. е. второй период явления выстрела фактически отсутствует.

Третий период, или **период последействия газов,** характеризуется тем, что газы, истекающие из ствола вслед за пулей, продолжают воздействовать на нее. В этот период давление газов резко падает, скорость же пули еще несколько возрастает до тех пор, пока давление газов на пулю не станет равным сопротивлению воздуха. В этой точке скорость пули достигает своего максимального значения v_{max}.

Таким образом, давление пороховых газов в канале ствола сначала почти мгновенно возрастает до значения P_0, затем продолжает резко возрастать до P_{max}, после чего начинается падение до $P_д$ в момент вылета пули из канала ствола и происходит дальнейшее падение в период последействия газов. Скорость пули непрерывно возрастает, вначале быстро, а затем медленнее, достигая значения v_{max}.

Для каждого периода выстрела внутренняя баллистика установила точные закономерности, показывающие зависимость давления газов и скорости пули от времени или пройденного пути. Эти зависимости позволяют полностью решать основную задачу внутренней баллистики: рассчитывать, какую скорость получает снаряд данного веса при заданном давлении газов в стволе.

3. ОСОБЕННОСТИ ВЫСТРЕЛА ИЗ МИНОМЕТА

В сравнении с выстрелом из стрелкового оружия выстрел из 82-*мм* миномета имеет некоторые особенности.

Горение пороха вначале происходит в основном заряде, затем пороховые газы прорывают стенки картонной гильзы против отверстий в трубке стабилизатора и воспламеняют дополнительные заряды. Поэтому необходимо обеспечить быстрое сгорание пороха в основном заряде для возможно более раннего воспламенения дополнительных зарядов. Это достигается применением сильного капсюля-воспламенителя, обеспечивающего однообразное воспламенение основного и дополнительных зарядов.

Мине сообщается сравнительно небольшая скорость движения, поэтому нет необходимости добиваться большого давления в канале ствола. Требуемая величина давления достигается при небольшой плотности заряжания в заминном объеме, составляющей 0,01—0,06 *кг/дм*^{3} для различных зарядов. Для правильного горения дополнительных зарядов при такой незначительной плотности заряжания они изготавливаются из сильного, быстро горящего нитроглицеринового пороха.

Плотность заряжания в основном заряде значительно больше, чем в заминном объеме (0,50—0,60 *кг/дм*^{3}). Вследствие этого вытекающие в заминный объем газы сильно расширяются и охлаждаются, отдавая значительную часть тепловой энергии на нагревание стенок ствола и мины. Большая теплоотдача происходит также за счет медленного движения мины в канале ствола.

Ствол миномета гладкостенный, поэтому давление форсирования практически равно нулю, а также нет затраты энергии на вращательное движение мины.

Вследствие наличия зазора между миной и стенками ствола значительная часть газов (10—15%) прорывается в этот зазор и энергия их не участвует в придании мине скорости, в то время как в стрелковом оружии количество прорывающихся газов весьма незначительно.

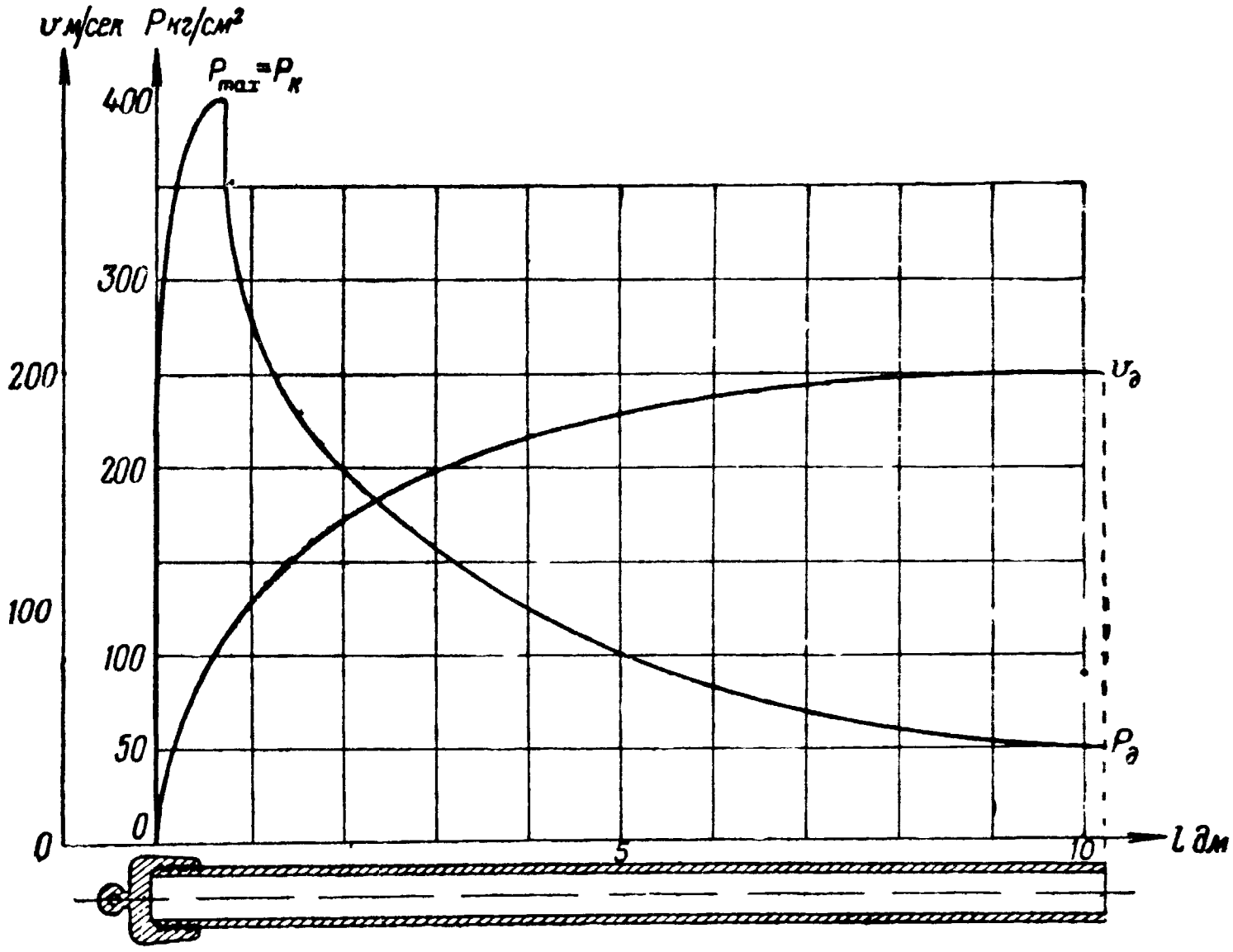


Рис. 10. Кривые давления газов и скорости мины в канале ствола 82-*мм* миномета при стрельбе на наибольшем заряде

В соответствии с этими особенностями явление выстрела из миномета делят на три периода (рис. 10).

1) Период от момента воспламенения основного заряда до пробития отверстий в стенках гильзы и истечения газов в заминный объем; этот период аналогичен предварительному периоду явления выстрела из стрелкового оружия.

2) Первый период — от момента воспламенения дополнительных зарядов и начала движения мины до полного сгорания всего порохового заряда. В минометах максимальное давление наступает в конце горения порохового заряда, следовательно, $P_{max} = P_к$. При стрельбе на наибольшем заряде из 82-*мм* миномета максимальное давление достигает 400—450 *кг/см²* и наступает при прохождении миной около 7 *см* пути.

3) Второй период — от полного сгорания порохового заряда до момента вылета мины из канала ствола. В этом периоде движение

мины происходит под действием постоянного количества свободно расширяющихся газов. Для наибольшего заряда $P_д$ — около 50 *кг/см²*, $v_д = 200—210$ *м/сек.*

4. ОСОБЕННОСТИ ВЫСТРЕЛА ИЗ РЕАКТИВНОГО ОРУЖИЯ

Реактивным называется оружие, в котором снаряд движется под действием реактивной силы, возникающей при сгорании порохового заряда, расположенного непосредственно в снаряде. Для того чтобы уяснить, как происходит выстрел в реактивном оружии, необходимо установить сущность реактивной силы.

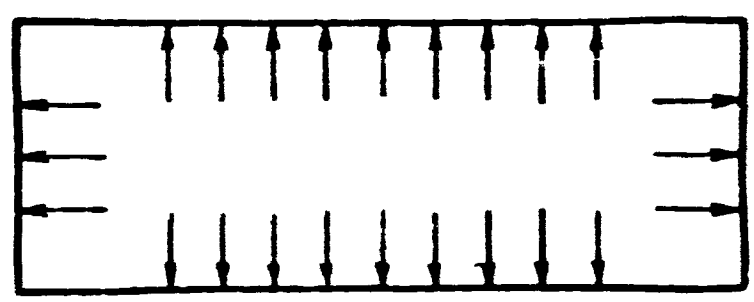


Рис. 11. Давление газов в замкнутом сосуде

Представим себе сосуд, герметически закрытый со всех сторон, в котором находятся газы под некоторым давлением (рис. 11). Так как давление на все стенки сосуда одинаково, то сосуд остается неподвижным. Если в одной из стенок сосуда сделать отверстие, то сила, действующая на стенку с отверстием, будет меньше силы, действующей на противоположную стенку, так как площадь стенки с отверстием стала меньше. Газы, находящиеся в сосуде под давлением, бо́льшим атмосферного, начнут истекать, создавая дополнительное усилие на стенку, не имеющую отверстия (рис. 12). Сила, действующая в сторону, противоположную истечению газов, называется **реактивной.** При достаточной величине реактивной силы сосуд приходит в движение.

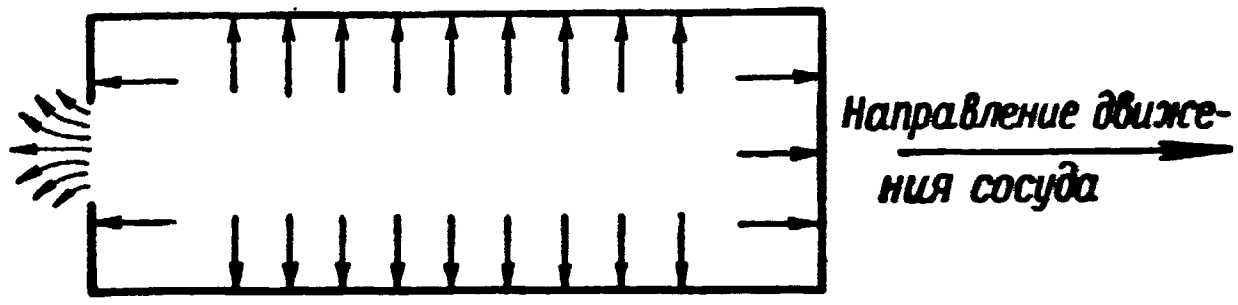


Рис. 12. Давление газов в сосуде, имеющем отверстие в одной из стенок

Реактивная сила R слагается из двух составляющих.

Первая составляющая представляет собой разность сил, действующих на стенку без отверстия и на противоположную стенку с отверстием. Численно она равна разности давлений внутри сосуда и вне его, умноженной на площадь отверстия:

$$R' = (p - p_a)\, s,$$

где R' — составляющая реактивной силы;
p — давление внутри сосуда;
p_a — давление вне сосуда (атмосферное);
s — площадь отверстия.

Вторая составляющая возникает вследствие истечения газов из сопла. Величина ее зависит от массы истекающих газов и скорости их истечения. Величину этой составляющей можно определить из уравнения количества движения тела.

Как известно, изменение количества движения тела (разность произведений массы тела на конечную и начальную скорость его движения) равно импульсу силы (произведению действующей силы на время ее действия):

$$R_2 t = mu - mu_0,$$

где R_2 — действующая сила;
t — время действия силы;
m — масса тела, на которую действует сила R_2;
u — конечная скорость тела;
u_0 — начальная скорость тела.

В данном случае u — скорость истечения газов, а $u_0 = 0$, так как до начала действия силы скорость истечения была равна нулю. Следовательно:

$$R_2 t = mu,$$

откуда

$$R_2 = \frac{mu}{t},$$

но

$$m = \frac{G}{g},$$

где G — вес истекающих газов;
g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м/сек²*.

Тогда:

$$R_2 = \frac{Gu}{tg}.$$

Обозначим

$$\frac{G}{t} = G_{\text{сек}},$$

где $G_{\text{сек}}$ — вес газов, истекающих в единицу времени, называемый **секундным расходом газов.**

Тогда:

$$R_2 = \frac{G_{\text{сек}}\, u}{g}.$$

Сила R_2 направлена в сторону истечения газов. Но по третьему закону механики при возникновении какой-либо силы обязательно возникает равная ей по величине и противоположно направленная сила. Следовательно, с началом истечения газов возникает сила, направленная в сторону, противоположную истечению, и равная по величине силе R_2. Обозначим ее R''. Таким образом, реактивная

сила и есть сила, слагающаяся из сил R' и R''. Так как обе эти силы имеют одно и то же направление, то:

$$R = R' + R'' = (p - p_a)\, s + \frac{G_{сек}\, u}{g}. \qquad (2)$$

Проанализируем формулу (2) и выясним, от каких величин и как зависит величина реактивной силы. Величина реактивной силы зависит:

1) От давления внутри сосуда p. Чем больше давление внутри сосуда, тем больше реактивная сила. Следовательно, чтобы создать возможно бóльшую реактивную силу, надо подобрать такой пороховой заряд, который давал бы возможно большее количество газов при возможно меньшем объеме каморы сгорания (сосуда).

2) От внешнего (атмосферного) давления p_a. Чем меньше внешнее давление, тем больше реактивная сила. Следовательно, в безвоздушном пространстве условия движения реактивного снаряда более благоприятны, чем в воздухе. При практических расчетах для снарядов считают, что $p - p_a \approx p$, т. е. величину внешнего давления не учитывают.

3) От площади отверстия s. Чем больше площадь отверстия, тем больше реактивная сила. Однако очень большое отверстие невыгодно, так как с увеличением площади отверстия истечение газов будет происходить быстрее образования газов от сгорания порохового заряда, вследствие чего будет уменьшаться давление p, а следовательно, и реактивная сила. При определении площади отверстия исходят из требований нарастания давления в период горения порохового заряда.

4) От секундного расхода газов $G_{сек}$. Чем больше секундный расход газов, тем больше реактивная сила. В свою очередь секундный расход газов прямо пропорционален давлению внутри каморы сгорания и площади отверстия.

5) От скорости истечения газов u. Чем больше скорость истечения газов, тем больше реактивная сила. При истечении газов в безвоздушное пространство скорость истечения больше, так как истекающие газы не встречают сопротивления воздуха. Скорость истечения в свою очередь зависит от давления газов внутри каморы сгорания, а также от размеров и формы отверстия, через которое истекают газы. Для увеличения скорости истечения газов выгодно иметь расширяющееся отверстие. В реактивных снарядах это отверстие называется соплом.

Теорией и опытом установлено, что одной из наиболее выгодных форм сопла является сопло Лаваля (рис. 13).

Наименьшее сечение сопла называется **критическим сечением.**

В результате ряда сложных преобразований формуле (2) можно придать следующий окончательный вид:

$$R = \varphi s_к p, \qquad (3)$$

где R — величина реактивной силы в *кг*;

φ — коэффициент, зависящий в основном от соотношения диаметров выходного и критического сечений сопла (для сопла Лаваля $\varphi = 1{,}5$);

$s_к$ — площадь критического сечения в $см^2$;

p — давление газов внутри реактивной каморы в $кг/см^2$.

Следовательно, основным фактором, определяющим величину реактивной силы при данной форме и размерах сопла, является величина давления внутри реактивной каморы. Вследствие того что вначале увеличение количества газов происходит быстрее их истечения, давление в газовой каморе возрастает и в какой-то момент достигает максимальной величины. Для современных реактивных

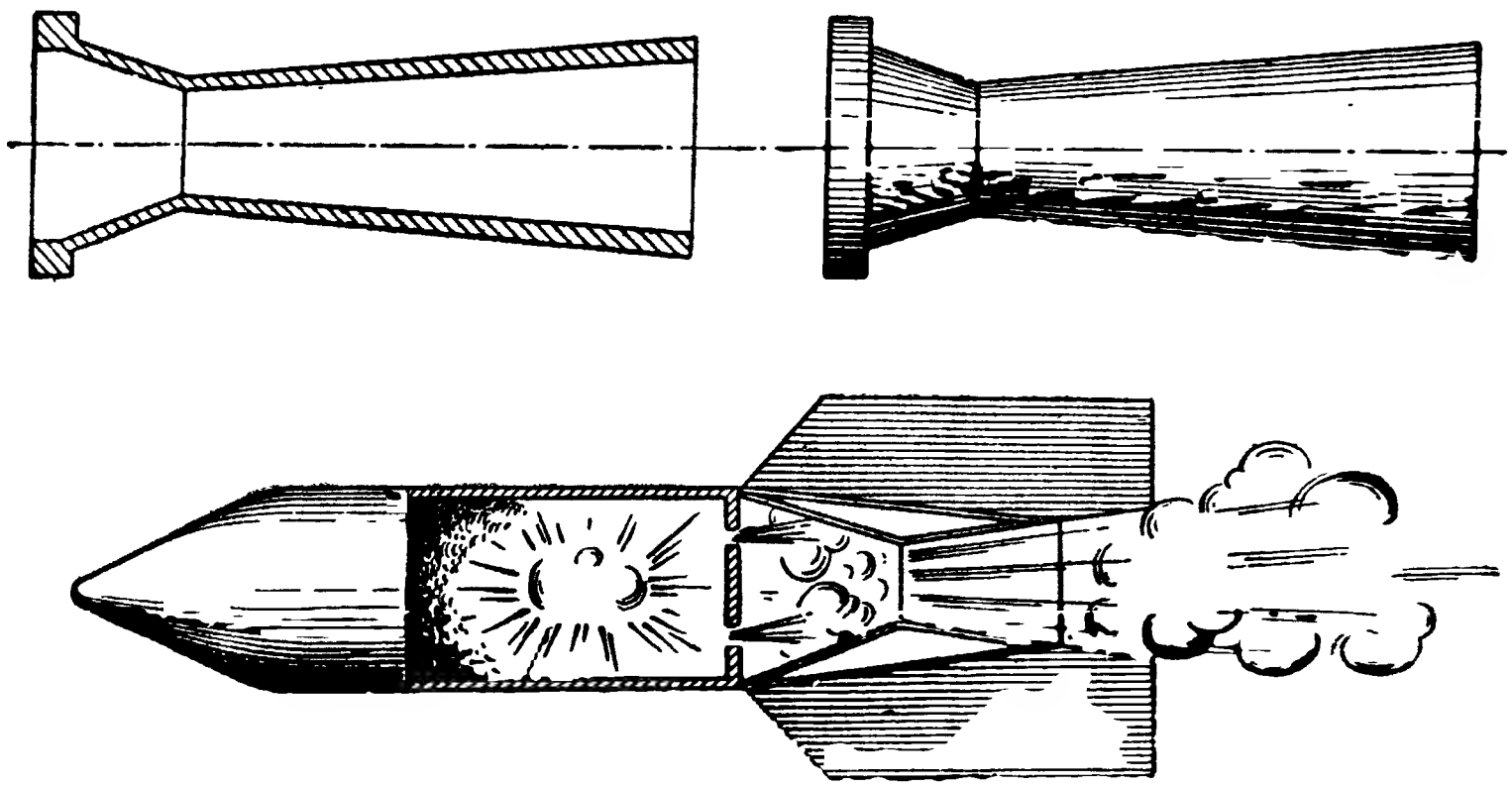


Рис. 13. Реактивный снаряд и сопло Лаваля

снарядов максимальное давление $p_{max} \approx 200$ $кг/см^2$. Затем давление газов уменьшается до тех пор, пока не станет равным внешнему давлению, и истечение газов прекращается. Таким образом, и реактивная сила вначале быстро возрастает до максимального значения, затем уменьшается до нуля при прекращении истечения газов.

Величина максимальной реактивной силы может быть определена по формуле (3). Пусть имеется реактивный снаряд с соплом Лаваля, площадь критического сечения которого $s_к = 3$ $см^2$ и $p_{max} = 200$ $кг/см^2$.

Тогда:

$$R_{max} = \varphi s_к p_{max}; \quad R_{max} = 1{,}5 \cdot 3 \cdot 200 = 900 \text{ кг}.$$

Образующаяся реактивная сила придает снаряду поступательное движение в сторону, противоположную истечению газов. Для того чтобы придать снаряду определенное направление полета, он устанавливается в направляющую. При воспламенении порохового заряда образуется реактивная сила и снаряд начинает движение. По мере сгорания порохового заряда возрастает скорость движения снаряда. Наибольшую скорость v_{max} снаряд приобретает в тот

момент, когда реактивная сила станет по абсолютной величине равной силе сопротивления воздуха. Но для приближенных расчетов можно считать, что v_{max} наступает в момент полного сгорания порохового заряда. Скорость снаряда в момент схода с направляющей называется **скоростью схода** v_0. Пренебрегая трением снаряда о направляющую и силой сопротивления воздуха, можно приближенно определить скорость схода v_0 и максимальную скорость v_{max}.

Если принять величину реактивной силы постоянной и равной ее среднему значению, то работа реактивной силы на пути, равном длине направляющей, будет равна кинетической энергии снаряда в момент схода:

$$R_{ср} l = \frac{q v_0^2}{2g},$$

где $R_{ср}$ — среднее значение реактивной силы; обычно принимают $R_{ср} = \frac{2}{3} R_{max}$;

l — длина направляющей в *м*;

q — вес снаряда в *кг*;

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м/сек²*;

v_0 — скорость схода.

Отсюда:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 R_{ср} l g}{q}}. \qquad (4)$$

Пример. Определить скорость схода реактивного снаряда при следующих условиях: $R_{max} = 900$ *кг*, $l = 2$ *м*, $q = 4$ *кг*.

Решение. Определяем $R_{ср}$:

$$R_{ср} = \frac{2}{3} R_{max}; \qquad R_{ср} = \frac{2}{3} \cdot 900 = 600 \text{ кг}.$$

Определяем v_0:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 R_{ср} l g}{q}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 2 \cdot 9{,}81}{4}} \approx 77 \text{ м/сек}.$$

Для определения приближенного значения v_{max} используем уравнение количества движения. Так как мы приняли, что скорость достигает значения v_{max} в момент полного сгорания порохового заряда, то можно считать, что произведение среднего значения реактивной силы на время полного сгорания порохового заряда (импульс силы) равно произведению веса снаряда на скорость в момент окончания горения порохового заряда, деленному на ускорение силы тяжести (количество движения):

$$R_{ср} t_к = \frac{q_{ср}}{g} v_{max},$$

где $t_к$ — время полного сгорания порохового заряда в сек.;

$q_{ср}$ — средний вес снаряда (между его весом в начале горения порохового заряда и в конце горения) в *кг*;

v_{max} — максимальная скорость снаряда в *м/сек*.

Отсюда:

$$v_{max} = \frac{R_{ср} t_к g}{q_{ср}}. \qquad (5)$$

Пример. Определить максимальную скорость реактивного снаряда при следующих условиях: $R_{ср} = 600$ *кг*, $t_к = 0{,}1$ сек., $q_{ср} = 3{,}75$ *кг*.

Решение:

$$v_{max} = \frac{R_{ср} t_к g}{q_{ср}} = \frac{600 \cdot 0{,}1 \cdot 9{,}81}{3{,}75} \approx 157 \text{ м/сек.}$$

После достижения скорости v_{max} реактивный снаряд движется в воздухе так же, как и обычный снаряд, т. е. испытывая сопротивление воздуха и действие силы тяжести.

5. ПРОЧНОСТЬ И ЖИВУЧЕСТЬ СТВОЛА

Во время выстрела образуется очень большое давление пороховых газов на стенки ствола, которые должны выдерживать это давление, не подвергаясь раздутию или разрыву. Так как давление на стенки ствола может в известных пределах колебаться, а иногда под влиянием внешних условий может значительно увеличиться, ствол должен иметь определенный **запас прочности.** Под запасом прочности понимается отношение предельно допустимого давления в данном сечении ствола к расчетному или найденному опытом давлению пороховых газов в этом же сечении. Обычно устанавливается запас прочности, равный 1,5—2 в данном сечении. Поэтому в казенной части ствола, где давление больше, стенки ствола более толстые. Однако толщина стенок ствола определяется не только величиной давления пороховых газов; имеет значение также и сопротивление ствола изгибу при случайных ударах, поэтому стенки ствола утолщаются и в дульной части.

Если давление пороховых газов находится в пределах величины, на которую рассчитана прочность ствола, то ствол подвергается только упругим деформациям, т. е. при воздействии давления ствол расширяется по окружности, а при прекращении давления принимает свои первоначальные размеры. Если давление пороховых газов почему-либо превысит величину, на которую рассчитана прочность ствола, то ствол может получить остаточную деформацию, т. е. расширение ствола по окружности может остаться и после прекращения давления. Такое явление называется **раздутием ствола.** В большинстве случаев раздутие получается при попадании в ствол посторонних предметов (пакля, тряпка, песок, земля и пр.). Пуля, натыкаясь на посторонний предмет, замедляет свое движение. Газы, следующие за пулей, при замедлении движения пули отталкиваются от ее дна и получают обратное движение. При столкновении газов, движущихся в противоположных направлениях, создается скачок давления, превосходящий величину, на которую рассчитана прочность ствола; происходит раздутие ствола, а иногда и разрыв его (рис. 14).

Кроме того, в процессе работы ствол подвергается износу. Все причины, вызывающие износ ствола, можно разбить на три основные группы.

1. **Причины механического характера.** Происходящее периодически расширение канала ствола и возвращение его к первоначальному размеру изменяет механические качества металла, на поверхности канала образуется сетка из неглубоких трещин, которые с увеличением числа выстрелов захватывают все бо́льшую поверхность. При врезании пули в нарезы вследствие большого трения происходит износ пульного входа. Движение пули по каналу ствола вызывает выкрашивание металла в трещинах. Струя истекающих пороховых газов оказывает на дульную часть ствола такое же действие, как и врезающаяся пуля на пульный вход.

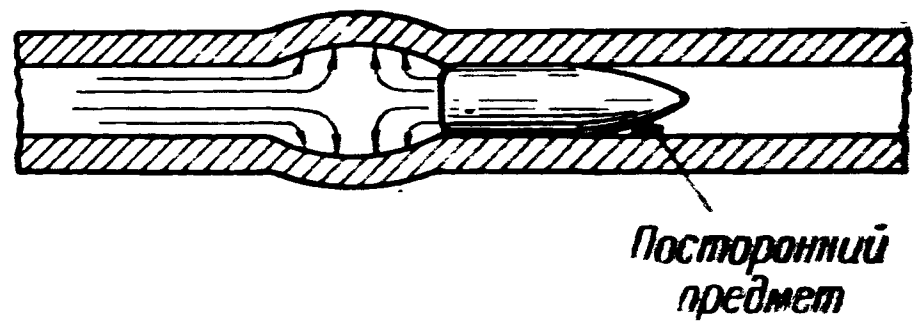


Рис. 14. Раздутие ствола

2. **Причины термического характера.** Высокая температура пороховых газов (почти вдвое превышающая температуру плавления стали) в силу очень короткого времени действия вызывает лишь частичное оплавление поверхности стенок канала ствола. Частицы оплавленного металла выносятся из канала струей пороховых газов. Кроме того, вследствие быстрого и резкого изменения температуры также происходит расширение и сжатие ствола, что ведет к углублению образовавшихся трещин.

3. **Причины химического характера.** Большое влияние на износ ствола оказывает образующийся при выстреле нагар. Количество нагара в стволе зависит от числа выстрелов и качественного состояния ствола. Чем больше произведено выстрелов и чем хуже состояние ствола, тем больше нагара остается. Это видно из таблицы, составленной В. Н. Поддубным на основании произведенных им испытаний (табл. 1).

Таблица 1

Количество выстрелов	Количество нагара, *мг*	
	в стволе, не пораженном сыпью	в стволе, пораженном сыпью
10	39,9	56,8
25	48,0	100,4
100	60,0	178,3

Нагар состоит из растворимых (12—25%) и нерастворимых (88—75%) веществ. Растворимые вещества представляют собой соли, образующиеся при сгорании ударного состава капсюля, в основном хлористый калий. Нерастворимые вещества: томпак, сорван-

ный с оболочки пули; свинец, выплавленный из дна пули; олово от расплавленной фольги, прикрывающей ударный состав капсюля; медь и латунь от гильзы; железо, сорванное с пули; зола, образовавшаяся при сгорании порохового заряда. Растворимые соли поглощают влагу из воздуха. Образующийся раствор вызывает ржавление. Таким образом, ржавление происходит главным образом в результате действия продуктов разложения ударного состава капсюля. Кроме того, медь, латунь, томпак в присутствии солей образуют с железом гальванический элемент, в результате чего ржавление усиливается и в стволе образуются раковины. Наличие в стволе трещин в свою очередь усиливает процесс ржавления.

Все эти причины вызывают изменение поверхности канала ствола и приводят к расширению канала, особенно в дульной части и у пульного входа, следствием чего является плохое центрование пули в стволе и понижение начальной скорости. А это приводит к значительному увеличению рассеивания, неправильности полета пули и уменьшению дальности.

Если при стрельбе из данного ствола получается потеря 10% скорости пули, то ствол считается непригодным к дальнейшей стрельбе.

В практике признаком такого износа ствола является срыв пуль с нарезов или рассеивание пуль, превышающее нормы, установленные правилами проверки боя оружия.

Количеством выстрелов, после которого ствол приходит в полную негодность, определяется **живучесть ствола.** Живучесть винтовочного ствола — 10—12 тысяч выстрелов, хромированного — до 30 тысяч выстрелов.

В автоматическом оружии, из которого ведется длительная напряженная стрельба, необходимо время от времени охлаждать ствол. Для этой цели к пулеметам прилагаются запасные стволы, причем оружие конструируется так, чтобы ствол можно было легко сменить. В автоматическом оружии, предназначенном для ведения интенсивного огня, стволы делают массивными в целях обеспечения более медленного повышения температуры стенок ствола при стрельбе, увеличивают поверхность (например, делают ствол ребристым) для лучшей теплоотдачи во внешнюю среду, а также применяют специальное охлаждение.

Увеличения живучести стволов можно достигнуть:

— в производстве — тщательной обработкой поверхности стенок канала ствола, изготовлением стволов из высококачественного металла, хромированием с целью увеличения твердости поверхности канала ствола, применением порохов с меньшей температурой горения; применением неоржавляющего ударного состава капсюля;

— в эксплуатации — соблюдением правильного режима стрельбы, тщательным уходом за оружием, устранением причин, вызывающих раздутие ствола, своевременной и правильной чисткой и смазкой оружия.

Чистка имеет целью удаление нагара из канала ствола. Так как основной причиной ржавления является наличие в стволе раство-

римых солей, чистка оружия должна производиться немедленно после стрельбы, иначе появление ржавчины неизбежно. В крайнем случае, если условия таковы, что вычистить оружие сразу же после стрельбы нельзя, необходимо ствол смазать, чтобы не допустить проникновения воды к поверхности канала ствола.

Чистка стволов производится щелочным составом до полного удаления нагара. Для очистки от нерастворимых веществ применяется жесткий щетинный ершик, которым нагар разрыхляется; после этого канал ствола очищается паклей. Если ствол покрылся влагой (отпотел) при внесении его с холода в теплое помещение, то нельзя ждать, пока капли влаги высохнут, так как в это время происходит образование соляных растворов, — чистку надо начинать немедленно. После чистки ствол протирается насухо и затем слегка смазывается.

При правильном уходе за стволом можно избежать ржавления, а следовательно, и образования сыпи и раковин.

6. НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ СНАРЯДА

При движении снаряда по каналу ствола скорость его все время увеличивается и достигает в момент вылета значения $v_д$, которое может быть определено методами внутренней баллистики. Если бы период последействия газов отсутствовал, то после вылета снаряда из канала ствола скорость его начала бы уменьшаться под действием силы сопротивления воздуха. Но во время периода последействия под давлением истекающих из ствола газов скорость снаряда еще несколько увеличивается, достигая значения v_{max}, а затем уже начинает падать под действием силы сопротивления воздуха. Но так как период последействия трудно поддается расчету и величина участка, на котором последействие газов влияет на увеличение скорости, незначительна (до 50 *см* для стрелкового оружия), точное значение v_{max} определить пока еще не удается.

Возникает вопрос: какую же величину принять за начальную скорость движения снаряда? Для большей наглядности рассмотрим схему, изображенную на рис. 15. Сплошной линией на этой схеме

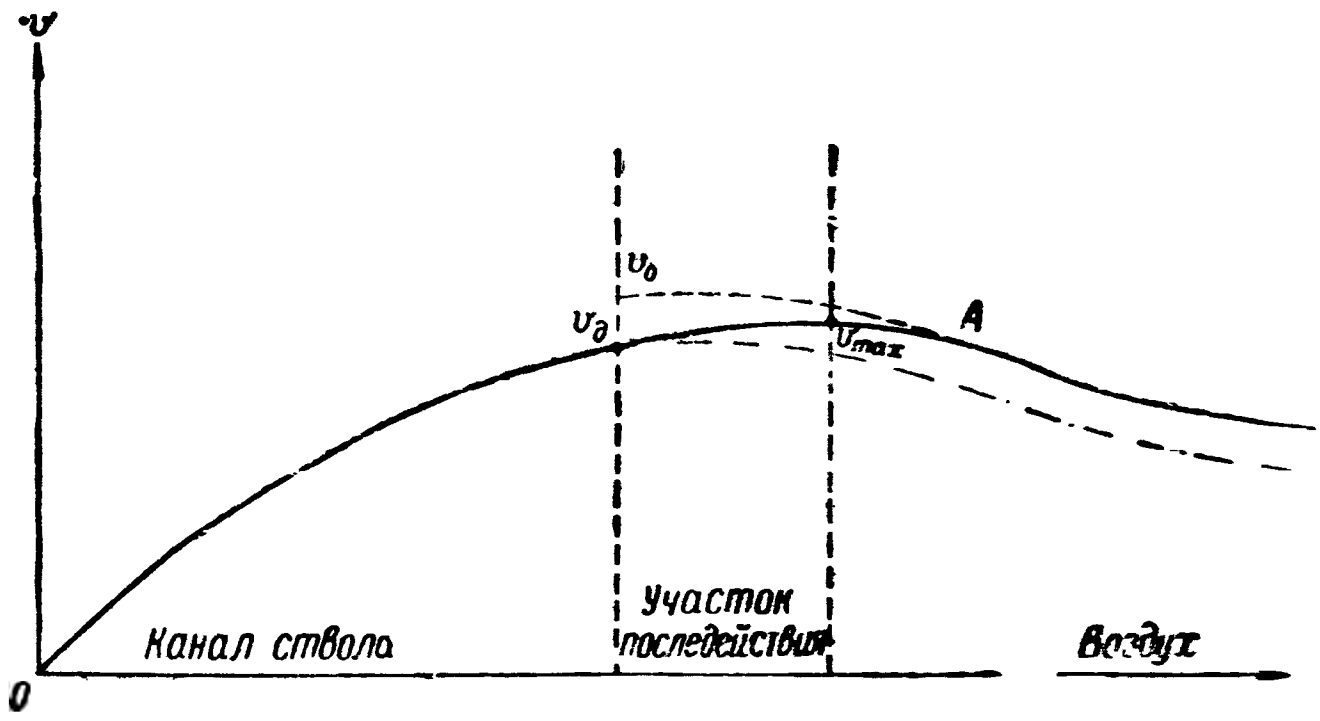


Рис. 15. Принцип выбора начальной скорости v_0

показано изменение скорости снаряда сначала в канале ствола, затем на участке последействия и далее в воздухе. Если считать участок последействия отсутствующим и принять за начальную скорость $v_д$, принимая, что в момент вылета снаряда из канала ствола на него начинает действовать сила сопротивления воздуха, то кривая скорости снаряда в воздухе окажется ниже действительной (на схеме показана пунктирной линией с точками), что искажает баллистические расчеты. Поэтому условились за **начальную скорость** v_0 принимать такую скорость у дульного среза, которая при действии силы сопротивления воздуха совпала бы за участком последействия с действительной скоростью (пунктирная линия).

Следовательно, для определения начальной скорости необходимо определить величину скорости снаряда в какой-либо точке *A*, расположенной за участком последействия, но не очень далеко от дульного среза, и затем, учитывая действие силы сопротивления воздуха, продолжить (достроить) кривую до дульного среза. Скорость, получившаяся у дульного среза, и принимается за начальную.

Для определения скорости снаряда в какой-либо точке в воздухе применяются специальные приборы — хронографы. Сущность определения скорости снаряда при помощи хронографа заключается в следующем (рис. 16). На определенном расстоянии друг от друга устанавливаются две рамы-мишени *A* и *B*, соединенные электриче-

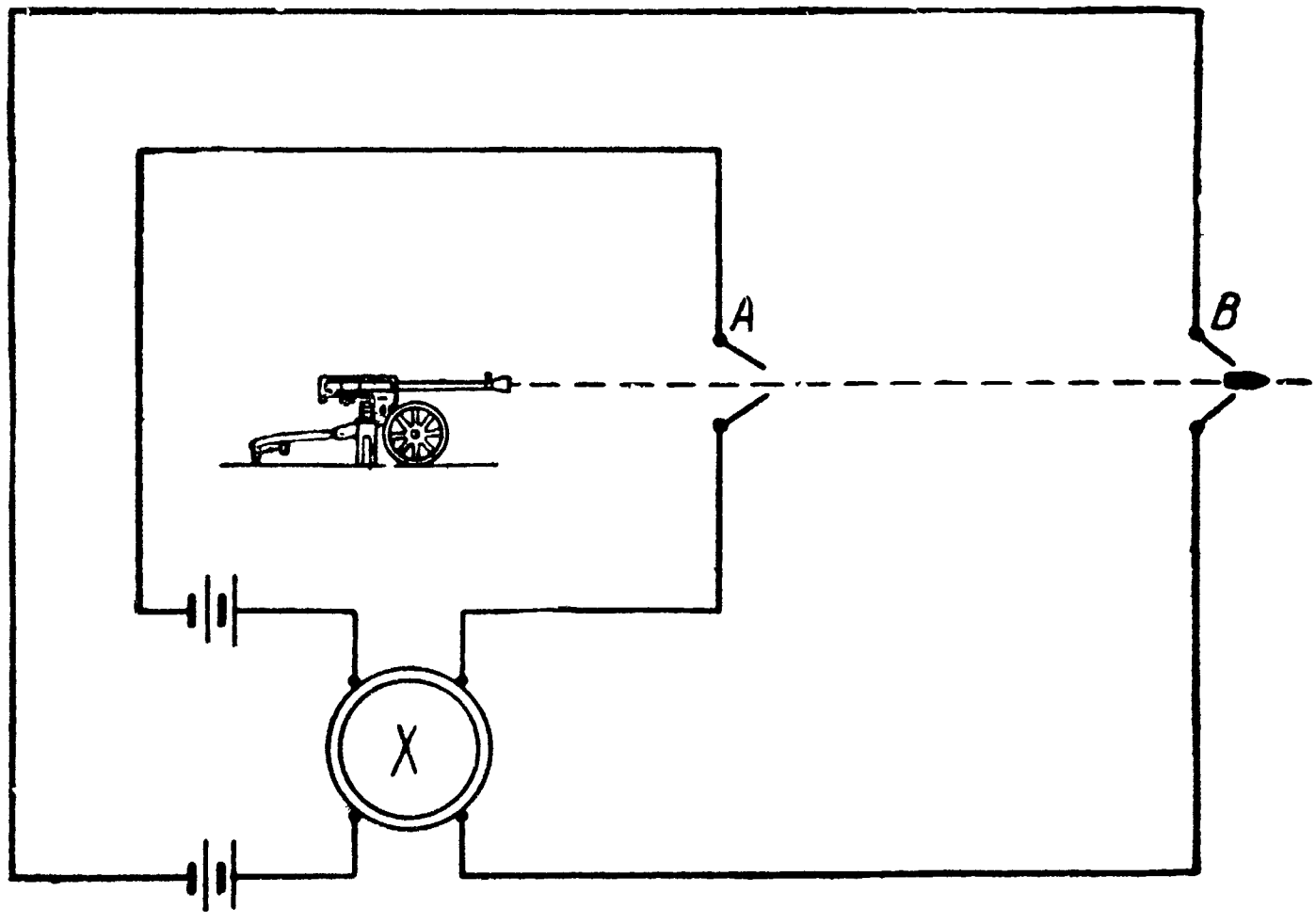


Рис. 16. Схема определения скорости при помощи хронографа

ской цепью с хронографом *X*. Мишень представляет собой либо деревянную раму с натянутой проволокой (для артиллерийских систем), либо наклеенную на бумагу фольговую мишень (для стрелкового оружия). Вместо первой рамы-мишени для стрелкового оружия обычно применяется дульный хомутик с проволокой-прерывателем. При пробивании первой рамы-мишени (проволоки-прерыва-

теля) хронограф автоматически включается, а при попадании во вторую — выключается.

По показаниям хронографа определяется время полета снаряда между двумя рамами-мишенями. Зная расстояние между рамами-мишенями и принимая движение на этом участке равномерным (так как участок выбирается малым), можно определить скорость снаряда на середине расстояния между рамами-мишенями по формуле:

$$v_{ср} = \frac{s}{t}, \qquad (6)$$

где $v_{ср}$ — средняя скорость снаряда на участке между двумя рамами-мишенями;

s — расстояние между рамами-мишенями;

t — время полета снаряда между рамами-мишенями.

Пусть, например, расстояние s между рамами-мишенями равно 50 *м*. Хронограф показал время $t = 0{,}064$ сек. Тогда скорость пули в 25 *м* от дульного среза:

$$v_{25} = \frac{s}{t} = \frac{50}{0{,}064} = 781 \text{ м/сек}.$$

Определив скорость снаряда в данной точке при помощи формул, учитывающих действие силы сопротивления воздуха, вычисляют величину начальной скорости. Подсчитано, что для стрелкового оружия начальная скорость пули в 1,025 раза больше скорости ее в 25 *м* от дульного среза.

Следовательно, величина начальной скорости пули определяется по формуле

$$v_0 = 1{,}025 \cdot v_{25}. \qquad (7)$$

Определим теперь начальную скорость пули, учитывая, что скорость пули, как сказано выше, в 25 *м* от дульного среза равна 781 *м/сек*:

$$v_0 = 1{,}025;\ v_{25} = 1{,}025 \cdot 781 \approx 800 \text{ м/сек}.$$

При стрельбе из минометов, где влияние периода последействия несущественно, за начальную скорость принимается скорость, которую приобретает мина в момент вылета.

Величина начальной скорости — одна из основных баллистических характеристик оружия. При увеличении начальной скорости увеличивается дальность полета снаряда, действительность огня, пробивная и убойная сила снаряда. Для оружия настильного огня чем больше v_0, тем более настильной получается траектория при равных углах возвышения.

Величина начальной скорости зависит от многих факторов. Основными из них являются следующие:

1. **Вес снаряда.** С увеличением веса снаряда при одном и том же заряде величина начальной скорости уменьшается, а с уменьшением веса снаряда увеличивается.

Например, легкая пуля обр. 1908 г. весит 9,6 *г* и получает начальную скорость $v_0 = 865$ *м/сек* при весе заряда 3,25 *г*; бронебойная пуля весом 10,6 *г* при том же весе заряда получает начальную скорость $v_0 = 810$ *м/сек*. Осколочная 82-*мм* мина с взрывателем М-5 весит 3,1 *кг*, дымовая мина с тем же взрывателем весит 3,4 *кг*; поэтому начальная скорость дымовой мины несколько меньше, чем осколочной.

2. **Вес заряда.** С увеличением веса заряда при одном и том же весе снаряда начальная скорость увеличивается. Так, при стрельбе из минометов начальная скорость мины изменяется при применении дополнительных зарядов. В табл. 2 приведено соотношение веса заряда, начальной скорости и дальности стрельбы для 82-*мм* десятиперых мин.

Таблица 2

Наименование заряда	Вес заряда, *г*	Начальная скорость, *м/сек*	Наибольшая дальность стрельбы, *м*
Основной	8	70	475
Первый (основной +1 дополнительный)	21,5	132	1505
Второй (основной +2 дополнительных)	35	175	2355
Третий (основной +3 дополнительных)	48,5	211	3040

3. **Длина канала ствола.** С увеличением длины канала ствола начальная скорость увеличивается, так как снаряд большее время подвергается действию давления газов. Однако возрастание начальной скорости с увеличением длины канала ствола происходит до определенных пределов. При очень большой длине ствола может оказаться, что сила действия пороховых газов на снаряд станет меньше силы сопротивления движению снаряда в канале ствола; в этом случае скорость снаряда начнет уменьшаться.

4. **Скорость горения пороха.** Чем больше скорость горения пороха, тем быстрее возрастает давление газов на снаряд, и, следовательно, вначале скорость движения снаряда в канале ствола растет быстрее. Максимальное давление для быстро горящего пороха больше и наступает раньше, чем для медленно горящего пороха. Но при применении медленно горящего пороха падение давления после максимального происходит медленнее, поэтому для оружия с длинным стволом медленно горящий порох может дать бóльшую начальную скорость, чем быстро горящий (рис. 17). Быстро горящий порох выгоден для оружия с коротким стволом (пистолеты, пистолеты-пулеметы).

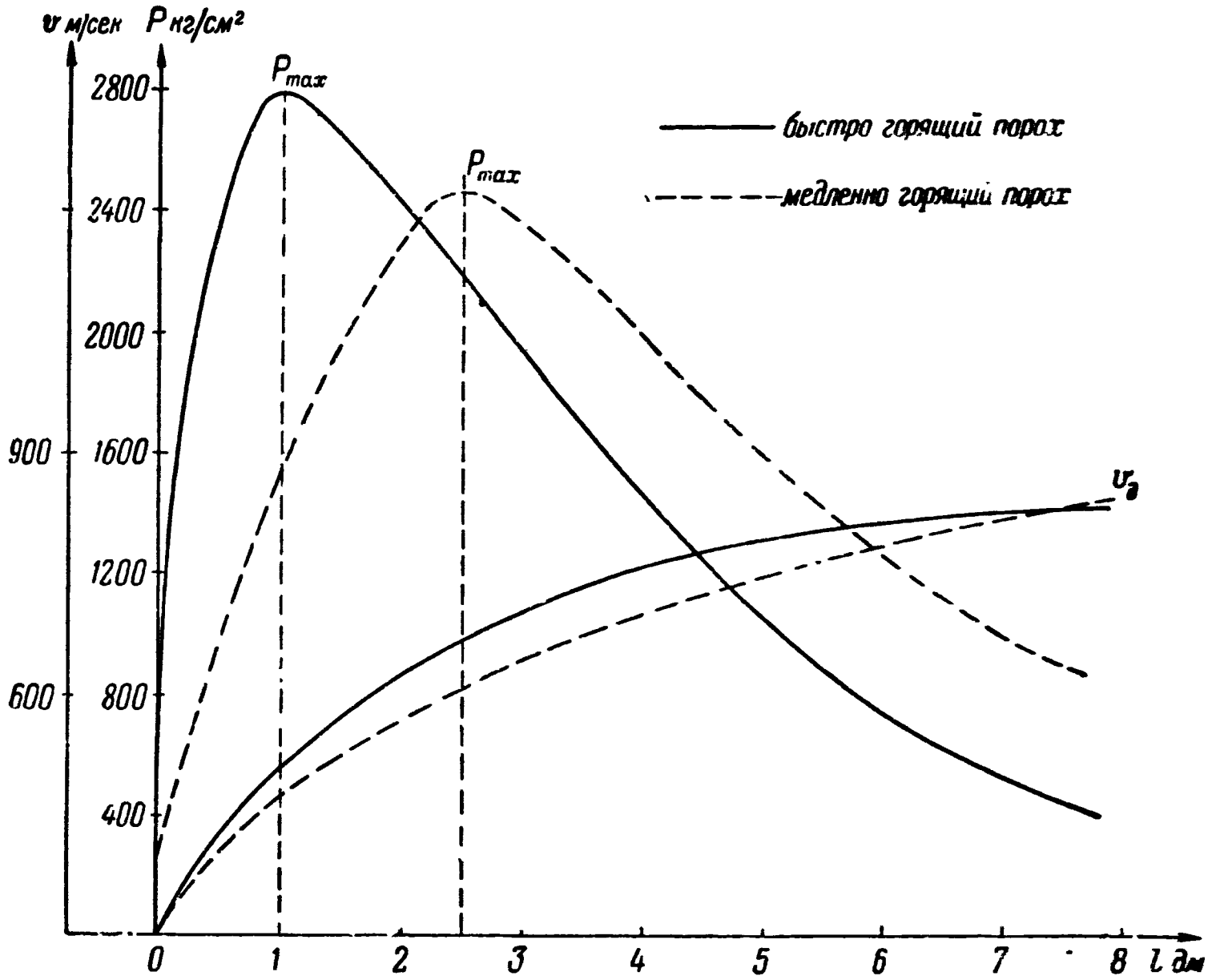


Рис. 17. Кривые давления газов и изменения скорости в канале ствола для быстро горящего и медленно горящего порохов

7. ОТДАЧА. ОБРАЗОВАНИЕ УГЛА ВЫЛЕТА

Пороховые газы, образующиеся во время выстрела, давят во все стороны с одинаковой силой [1]. Давление на стенки ствола приводит к упругим деформациям ствола, а давление на дно снаряда и на дно гильзы вызывает поступательное движение снаряда и ствола.

Движение ствола и связанных с ним деталей (оружия) в сторону, противоположную движению снаряда, во время выстрела под действием давления пороховых газов называется **отдачей.**

В явлении отдачи нас интересует ее скорость и энергия, а также характер движения оружия.

Так как снаряд и оружие движутся в противоположные стороны под действием внутренней силы (давления пороховых газов), для любого момента движения на основании закона количества движения можно записать:

$$MV = mv,$$

где M — масса оружия;
V — скорость отдачи;
m — масса снаряда;
v — скорость снаряда.

---

[1] В действительности давление на дно снаряда и давление на дно гильзы несколько различны. Однако для наших расчетов этой разницей можно пренебречь.

Заменив M через $\frac{Q}{g}$, где Q — вес оружия, и m — через $\frac{q}{g}$, где q — вес снаряда, определим скорость отдачи:

$$V = \frac{mv}{M} = \frac{qvg}{Qg}$$

и, сократив на g, получим:

$$V = \frac{qv}{Q}. \qquad (8)$$

Но эта формула неточно выражает явление, так как в движении принимает участие неучтенный здесь пороховой заряд. Можно считать, что половина заряда перемещается в сторону снаряда, а половина — в сторону оружия; но так как вес заряда по сравнению с весом оружия весьма незначителен, то мы прибавляем половину веса заряда только к весу снаряда. Формула принимает вид:

$$V_{отд} = \frac{(q + 0{,}5\omega)\, v}{Q}. \qquad (9)$$

Однако по этой формуле можно определить скорость отдачи оружия только до того момента, пока снаряд еще не вылетел из канала ствола. При вылете снаряда из канала ствола истекающие из него газы, действуя на ствол реактивно, увеличивают скорость движения оружия назад. Это действие учитывается коэффициентом β. который определяется по эмпирической формуле:

$$\beta = \frac{1275}{v_0}. \qquad (10)$$

С учетом коэффициента β формула выражает наибольшую скорость отдачи оружия и имеет вид:

$$V_{отд} = \frac{(q + \beta\omega)\, v_0}{Q}. \qquad (11)$$

Пример. Определить скорость отдачи карабина обр. 1944 г. при стрельбе пулей обр. 1908 г. Вес пули $q = 0{,}0096$ *кг*; вес заряда $\omega = 0{,}00325$ *кг*; вес карабина $Q = 3{,}9$ *кг*; начальная скорость пули $v_0 = 820$ *м/сек.*

Решение. Определяем величину β:

$$\beta = \frac{1275}{820} \approx 1{,}55.$$

Известные данные подставляем в формулу:

$$V_{отд} = \frac{(q + \beta\omega)\, v_0}{Q} = \frac{(0{,}0096 + 1{,}55 \cdot 0{,}00325)\, 820}{3{,}9} \approx 3{,}1 \text{ м/сек.}$$

Зная скорость отдачи, можно определить максимальную энергию отдачи как кинетическую энергию оружия:

$$E_{отд} = \frac{QV_{отд}^2}{2g}. \qquad (12)$$

Пример. Условия те же, что и в. предыдущем примере. Определить энергию отдачи карабина.

Решение.

$$E_{отд} = \frac{QV_{отд}^2}{2g} = \frac{3{,}9 \cdot 3{,}1^2}{2 \cdot 9{,}81} \approx 1{,}9 \text{ кгм.}$$

Если необходимо сразу вычислить энергию отдачи, без предварительного определения скорости отдачи, то в формулу (12) вместо $V_{отд}$ подставляется его значение из формулы (11). После сокращений получается:

$$E_{отд} = \frac{(q + \beta\omega)^2 v_0^2}{2Qg} . \qquad (13)$$

По формулам (12) и (13) энергия отдачи определяется для неавтоматического оружия. Определение энергии отдачи для автоматического оружия более сложно, так как необходимо учитывать дополнительные факторы. Например, в автоматическом оружии, действующем на принципе использования энергии части газов, отводимых через отверстие в канале ствола, явление отдачи усложняется истечением газов и неодновременным началом движения подвижных частей. В момент начала движения снаряда начинается отдача всего оружия; при истечении газов через отверстие начинает движение шток с затворной рамой относительно оружия; затем начинает движение затвор с гильзой и т. д. Вследствие такой сложности явления применение формул (12) и (13) для этих видов оружия не дает истинной картины. В автоматическом оружии, действующем на принципе использования энергии отдачи, применение формул (12) и (13) возможно для определения энергии свободной (не поглощенной пружинами) отдачи подвижной системы. При этом в величину Q надо включать только вес подвижных частей оружия. Энергия же отдачи, действующая на стрелка (станок), в этих системах может быть значительно меньшей, чем в неавтоматическом оружии, так как, помимо того, что она используется для работы механизмов, применяются различные устройства (амортизаторы) для поглощения отдачи.

При стрельбе из неавтоматического оружия, в частности из карабина обр. 1944 г., энергия отдачи оказывает только вредное действие, так как воспринимается плечом стрелка и, естественно, утомляет его при длительной стрельбе. Поэтому понятно стремление по возможности уменьшить величину отдачи и установить для каждого вида оружия пределы допустимой величины энергии отдачи. Так. величина энергии отдачи, воспринимаемая плечом стрелка, не должна превышать 2 *кгм*.

При стрельбе из миномета отдача воспринимается опорной плитой. Так как вес заряда незначителен не только в сравнении с весом ствола, но и в сравнении с весом мины, то при определении скорости и энергии отдачи его можно не учитывать. Следовательно, определение скорости и энергии отдачи миномета можно производить по формулам (8) и (12).

Пример. Определить скорость и энергию отдачи 82-*мм* миномета при стрельбе на наибольшем заряде при следующих условиях: вес ствола $Q = 19$ *кг*, вес мины $q = 3{,}1$ *кг*, начальная скорость мины $v_0 = 211$ *м/сек*.

Решение. 1. Определяем скорость отдачи:

$$V_{отд} = \frac{q \cdot v_0}{Q} = \frac{3{,}1 \cdot 211}{19} \approx 34{,}4 \text{ м/сек}.$$

2. Определяем энергию отдачи:

$$E_{\text{отд}} = \frac{QV_{\text{отд}}^2}{2g} = \frac{19 \cdot 34{,}4^2}{2 \cdot 9{,}81} \approx 1150 \text{ кгм.}$$

Такая большая величина энергии отдачи требует тщательной установки опорной плиты, для того чтобы энергия, воспринимаемая плитой, равномерно распределялась по всей поверхности площади под плитой.

Вопрос о величине энергии отдачи имеет большое значение при проектировании оружия. Из формулы (13) видно, что уменьшить энергию отдачи можно за счет уменьшения начальной скорости снаряда v_0, но это невыгодно, так как приводит к ухудшению баллистических свойств оружия; можно уменьшить энергию отдачи за счет увеличения веса оружия Q, но и это невыгодно, ибо ухудшает маневренные свойства оружия; изменение величины веса снаряда q и веса заряда ω в свою очередь вызывает и изменение начальной скорости. Поэтому при проектировании оружия учитывают все условия и выбирают такую комбинацию величин v_0, Q, q и ω, чтобы, не увеличивая энергии отдачи сверх допустимой величины, получить в то же время наиболее выгодные баллистические свойства оружия.

Кроме того, имеются конструктивные способы уменьшения энергии отдачи. К ним относится применение **дульных тормозов.** Дульными тормозами называются приспособления, соединенные с дульной частью ствола и служащие для уменьшения энергии отдачи.

Дульные тормоза бывают активного, реактивного и комбинированного действия (рис. 18).

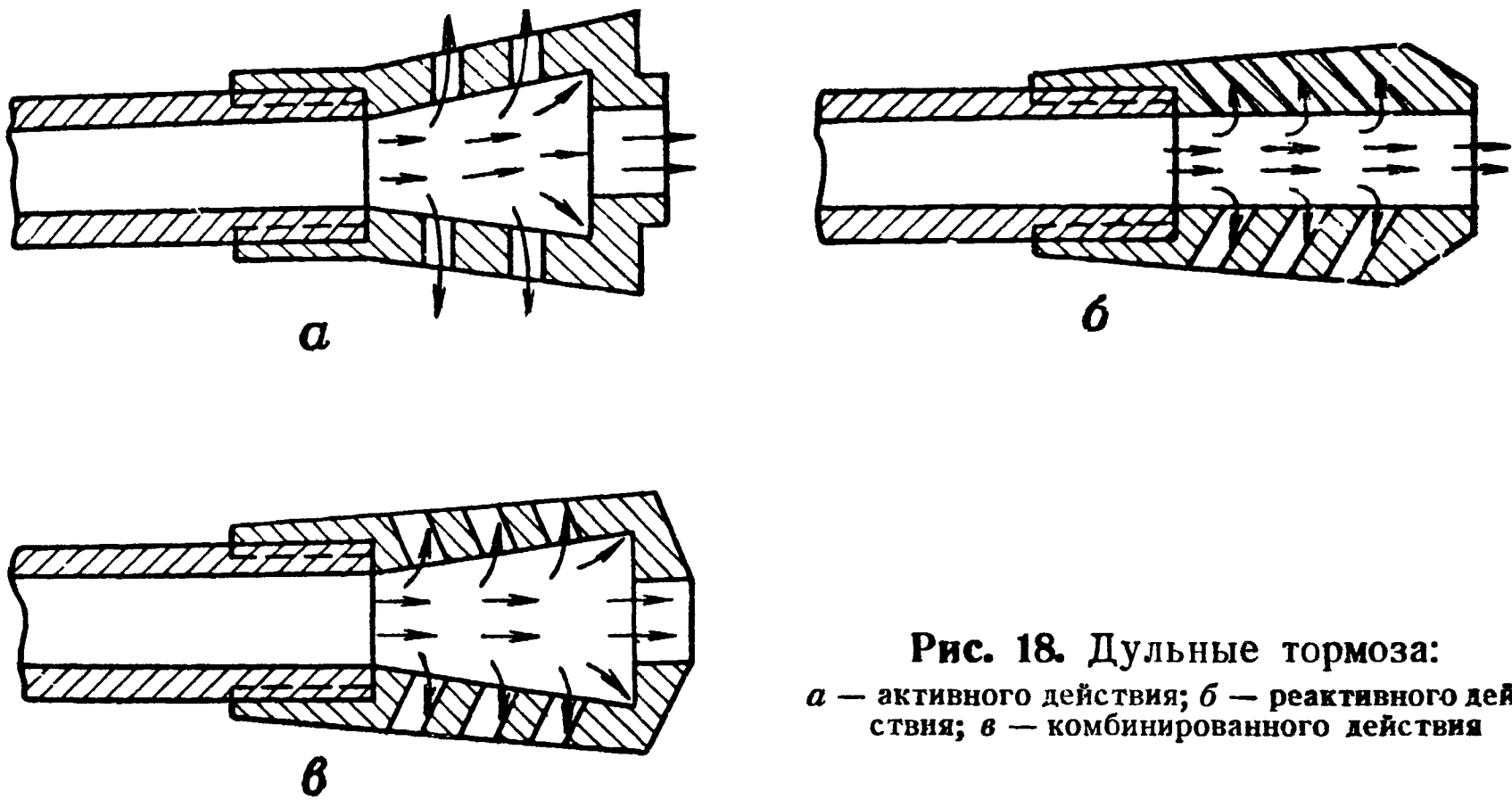


Рис. 18. Дульные тормоза:
а — активного действия; *б* — реактивного действия; *в* — комбинированного действия

Дульный тормоз **активного действия** имеет переднюю стенку с довольно большой поверхностью. Истекающие из канала ствола газы давят на эту стенку и тем самым создают силу, направленную в сторону, противоположную отдаче, т. е. уменьшают скорость отдачи.

Дульный тормоз **реактивного действия** устроен таким образом, что часть газов, истекающих из канала ствола, попадает в окна, грани которых срезаны под углом назад. Благодаря наличию этих окон изменяется направление движения газов и создается составляющая реактивного действия, направленная в сторону, противоположную отдаче, т. е. уменьшающая скорость отдачи.

Кроме того, в тормозах обоих описанных типов скорость отдачи уменьшается вследствие того, что часть газов отводится через окна в сторону и не участвует в реактивном действии газов на ствол.

Дульный тормоз **комбинированного действия** сочетает принцип действия активного и реактивного тормозов.

Дульные тормоза поглощают до 30—40% энергии отдачи. Они находят широкое применение в артиллерии и в стрелковом оружии крупного калибра.

К недостаткам дульных тормозов относятся следующие: 1) поток пороховых газов отклоняется в сторону стрелка; 2) увеличивается резкость звука выстрела; 3) оружие демаскируется пылью, поднимаемой газами, ударяющимися о поверхность земли.

Отдача приводит не только к движению оружия вдоль оси канала ствола, но также и к отклонению оси канала ствола от первоначального направления. Чтобы уяснить причину этого явления, рассмотрим рис. 19. Сила P_1, вызывающая отдачу оружия, направ-

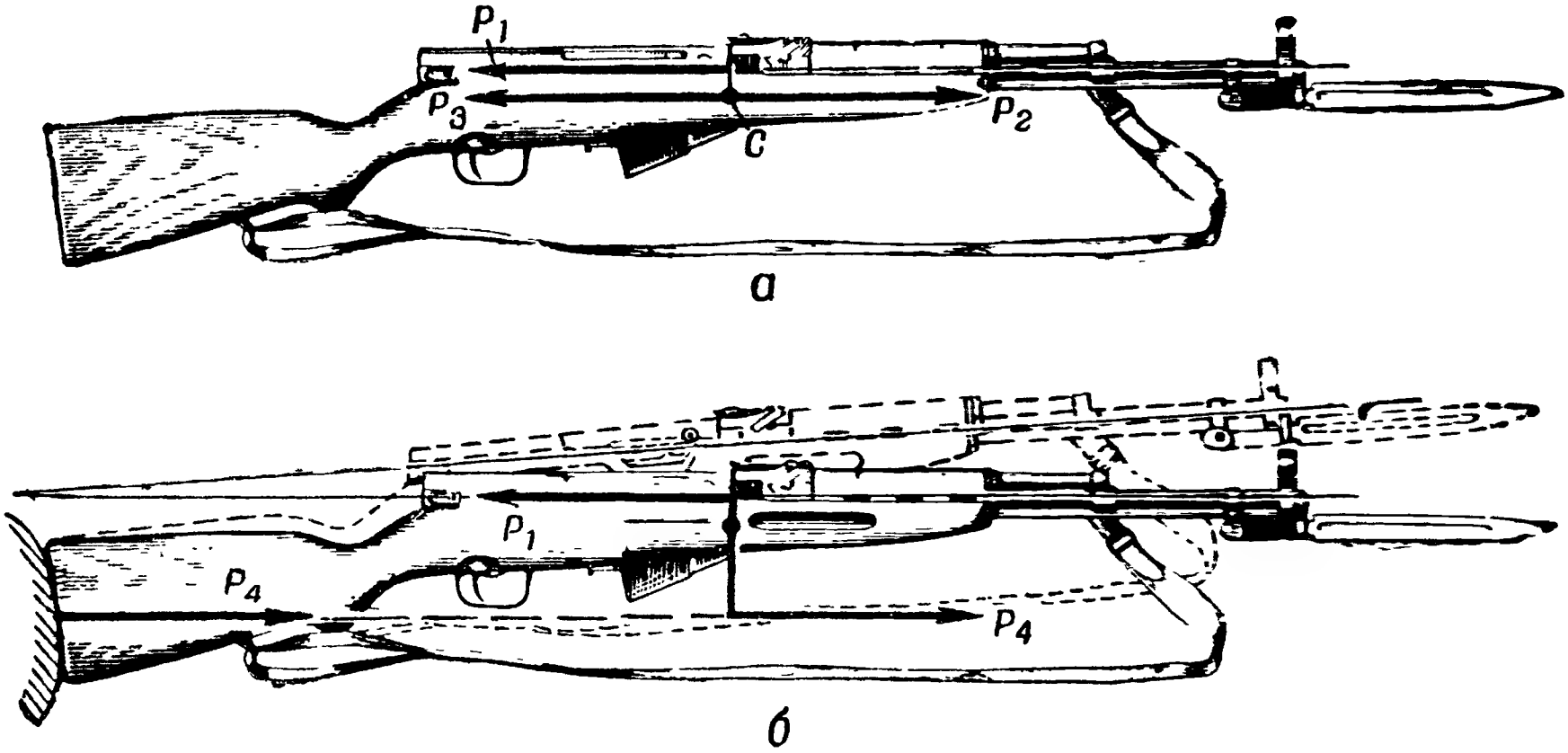


Рис. 19. Схема действия силы отдачи:
а — при креплении оружия в центре тяжести; *б* — при упоре оружия в плечо

лена вдоль оси канала ствола по направлению движения оружия. Если к центру тяжести приложить две силы: P_2 и P_3, равные по величине силе P_1 и взаимно противоположно направленные, то силы P_1 и P_2 образуют пару сил, которая заставляет оружие отклоняться дульной частью кверху, а сила P_3 придает оружию поступательное движение назад. Такое положение получится в том случае, когда оружие будет иметь точку крепления только в центре тяжести. В действительных условиях стрельбы стрелок, упирая при-

клад в плечо (рис. 19, *б*), тем самым противодействует силе P_1, а так как расстояние между осью канала ствола и линией приложения силы противодействия P_4 несколько больше, чем расстояние от оси канала ствола до центра тяжести, то и вращательный момент в этом случае несколько увеличивается.

Таким образом, во время выстрела оружие отклоняется дульной частью ствола кверху и в момент вылета снаряда направление оси канала ствола не совпадает с первоначальным. Величина отклонения дульной части ствола тем больше, чем больше плечо пары сил.

Кроме того, на величину отклонения дульной части ствола от первоначального положения оказывает влияние вибрация ствола. Ствол оружия представляет собой стержень, закрепленный на одном конце. При движении снаряда ствол совершает колебательные движения — вибрирует. Снаряд получает при вылете направление в зависимости от положения дульной части ствола и от скорости колебательного движения конца ствола в момент вылета.

Сочетание влияния вибрации ствола и отдачи оружия приводит к образованию угла вылета.

Углом вылета γ называется угол, образованный направлением оси канала ствола наведенного оружия до выстрела и направлением той же оси в момент вылета снаряда из канала ствола. Угол вылета считается положительным, когда ось канала ствола в момент вылета снаряда выше ее положения до выстрела, и отрицательным, когда она ниже. Указанная в таблицах стрельбы величина угла вылета является средней величиной, полученной опытным путем. В некоторых системах оружия величина угла вылета лишь незначительно колеблется около нулевого значения, принимая как положительные, так и отрицательные значения; в этом случае величина угла вылета принимается равной нулю. Такое положение наблюдается в карабине и ручном пулемете.

Наличие угла вылета у систем оружия, из которых ведется одиночный огонь, не может считаться недостатком, так как угол вылета при сохранении постоянной величины не влияет на бой оружия. Ухудшение результатов стрельбы будет иметь место в том случае, когда величина угла вылета от выстрела к выстрелу меняется. Изменение величины угла вылета может произойти вследствие неоднообразной прикладки оружия (изменение плеча пары сил). Поэтому одной из основных задач при обучении стрельбе является обучение правильной и однообразной прикладке оружия.

При стрельбе непрерывным огнем из автоматического оружия само наличие угла вылета приводит к нарушению нормальных условий стрельбы. Если в момент вылета первой пули ось ствола отклонилась на какой-то угол от первоначального положения, то при следующем выстреле отклонение происходит уже от нового положения оси канала ствола и т. д. Так, при стрельбе из пистолета-пулемета обр. 1941 г., имеющего положительный угол вылета (отклонение вверх), можно заметить, как дульная часть ствола подымается все выше и выше. Для устранения этого нарушения необходимо создать условия, при которых ось канала ствола после

каждого выстрела будет возвращаться в первоначальное положение. С этой целью применяются специальные конструктивные устройства — **компенсаторы.** В пистолете-пулемете обр. 1941 г. компенсатор представляет собой продолжение кожуха, в верхней стенке которого вырезано окно (рис. 20). Истекающие из ствола газы давят на все стенки компенсатора. Давление на переднюю стенку уменьшает отдачу (принцип активного дульного тормоза), а разность давлений на сплошную нижнюю стенку и на верхнюю стенку с окном приводит к реактивному движению компенсатора, а с ним и всей дульной части ствола оружия вниз. Иногда передняя стенка компенсатора делается наклонной для увеличения количества газов, истекающих в верхнее окно. Таким образом, компенсатор приближает ось канала ствола после каждого выстрела к первоначальному положению, отчего кучность стрельбы повышается.

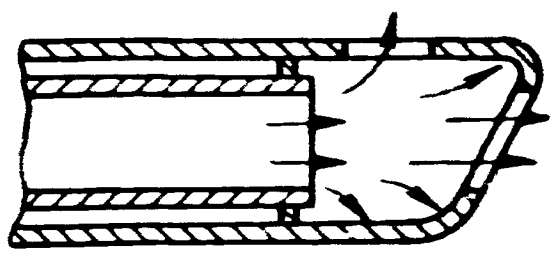


Рис. 20. Компенсатор

ГЛАВА IV

СВЕДЕНИЯ ИЗ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ

Внешняя баллистика изучает движение снаряда в воздухе после прекращения действия на него пороховых газов. Как было сказано выше, участок последействия газов на снаряд очень мал и трудно поддается расчету, поэтому во внешней баллистике считают, что газы прекращают действовать на снаряд в момент вылета его из канала ствола. Следовательно, внешняя баллистика изучает движение снаряда в воздухе от момента вылета его из канала ствола до встречи с целью (преградой).

При полете снаряда в воздухе на него оказывают влияние две силы: **сила тяжести** и **сила сопротивления воздуха.** Основной задачей внешней баллистики является изучение движения снаряда под действием этих двух сил. Движение снаряда рассчитывают, как движение материальной точки, совпадающей с его центром тяжести, считая вес снаряда сосредоточенным в этой точке и все силы, действующие на снаряд, приложенными к этой точке. Следовательно, под траекторией снаряда мы будем принимать линию, описываемую центром тяжести снаряда при полете.

В задачи внешней баллистики входит также рассмотрение вращательного действия снаряда, изменения элементов траектории в зависимости от различных факторов, составление таблиц стрельбы и ряд других специальных задач.

Для того чтобы получить достаточно полную картину движения снаряда в воздухе, необходимо учитывать очень большое количество различных факторов, одновременное рассмотрение которых чрезвычайно сложно. Поэтому мы начнем с рассмотрения движения снаряда в наиболее простых условиях, принимая, что на снаряд при полете оказывает влияние только сила тяжести (снаряд летит как бы в безвоздушном пространстве); затем выясним сущность силы сопротивления воздуха и действие ее на снаряд; далее рассмотрим вращательное движение снаряда и, наконец, выясним влияние на полет снаряда различных условий, отличающихся от нормальных.

1. ДВИЖЕНИЕ СНАРЯДА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Траектория и ее элементы

Если представить себе, что после вылета снаряда из канала ствола на него не будут действовать никакие силы, то снаряд будет двигаться по инерции, сохраняя приобретенные в канале ствола скорость и направление движения, т. е. будет совершать равномерное и прямолинейное движение. Путь, пройденный снарядом в любой промежуток времени t, определился бы по формуле

$$s = v_0 t.$$

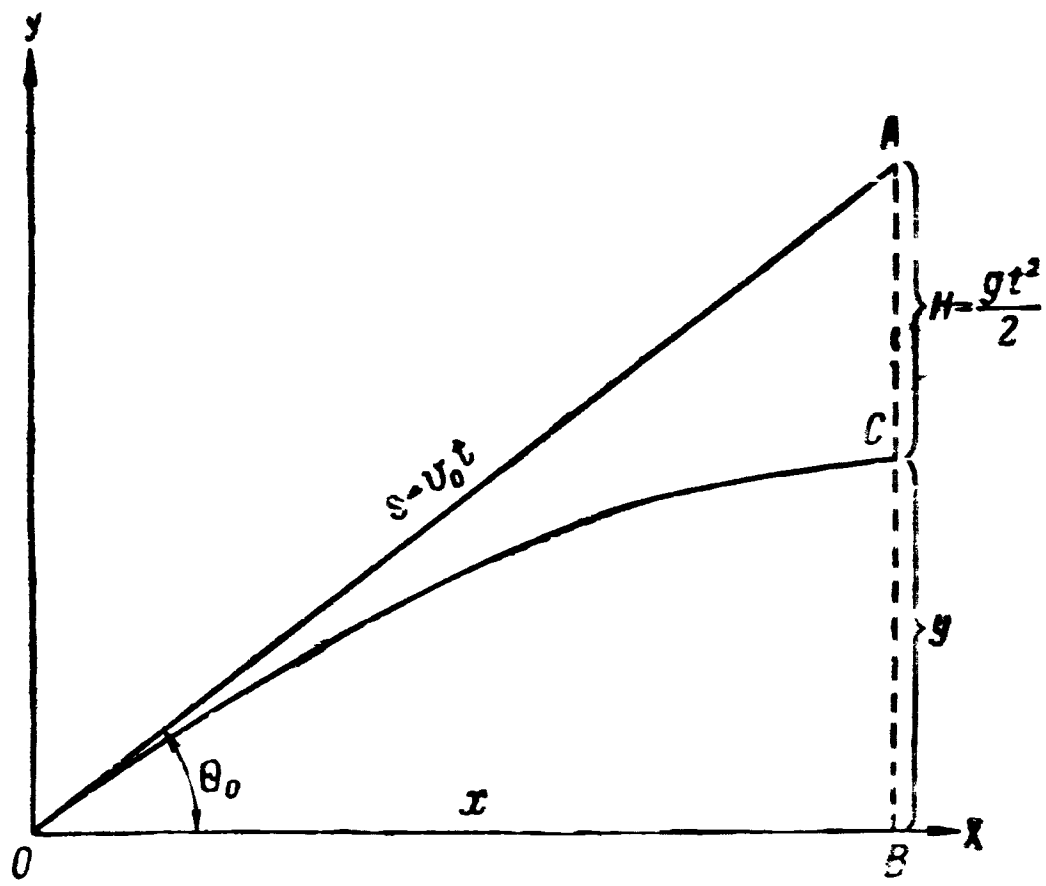


Рис. 21. Образование траектории в безвоздушном пространстве под действием силы тяжести

Примем за точку вылета O центр дульного среза ствола и поместим в ней начало координат (рис. 21). Пусть снаряд выброшен с начальной скоростью v_0 и при стрельбе создан некоторый угол Θ_0 между направлением оси канала ствола и осью OX.

Тогда снаряд при отсутствии какого-либо воздействия на него в некоторый момент времени оказался бы в точке A, отрезок $OA = v_0 t$. Но так как на снаряд действует сила тяжести, под влиянием которой происходит понижение снаряда относительно линии OA в каждый момент времени на величину $H = \frac{gt^2}{2}$ (т. е. на величину свободного падения тела под действием тяжести), в действительности снаряд окажется в данный момент времени t не в точке A, а в точке C, расположенной ниже точки A на величину $\frac{gt^2}{2}$.

Определить положение снаряда в данный момент времени можно, зная его удаление по оси OX и его превышение над этой осью, или, другими словами, зная координаты точки C (x, y).

Искомые координаты определим из рассмотрения треугольника OAB.

$$x = OB = OA \cos \theta_0$$

или

$$x = v_0 t \cos \theta_0; \tag{14}$$

$$y = BC = BA - CA = OA \sin \theta_0 - CA$$

или

$$y = v_0 t \sin \theta_0 - \frac{gt^2}{2}. \tag{15}$$

Таким образом, зная v_0 и θ_0, можно по формулам (14) и (15) определить положение снаряда для любого заданного момента времени t.

Определим из формулы (14) значение t:

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \theta_0} \tag{16}$$

и полученное значение подставим в формулу (15):

$$y = \frac{v_0 x \sin \theta_0}{v_0 \cos \theta_0} - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \theta_0}.$$

Произведя сокращение и преобразование, получим:

$$y = x \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \theta_0}. \tag{17}$$

Формула (17) выражает зависимость между x и y для любой точки траектории и называется уравнением траектории в безвоздушном пространстве. Зная уравнение траектории и заданные значения v_0 и θ_0, можно построить график траектории, задаваясь значениями x через определенные промежутки.

Пример. Построить траекторию 82-*мм* мины, выпущенной при $\theta_0 = 45°$ и $v_0 = 70$ *м/сек* (без учета силы сопротивления воздуха).

Решение. Для удобства вычислений определим из формулы (17) постоянную величину:

$$\frac{g}{2 v_0^2 \cos^2 \theta_0} = \frac{9{,}81}{2 \cdot 70^2 \cdot 0{,}71^2} \approx 0{,}002.$$

Тогда

при $x_1 = 50$ *м*: $y_1 = 50 \cdot 1 - 50^2 \cdot 0{,}002 = 45$ *м*;

при $x_2 = 100$ *м*: $y_2 = 100 \cdot 1 - 100^2 \cdot 0{,}002 = 80$ *м*;

и т. д.

Полученные данные сведем в таблицу:

x, *м*	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
y, *м*	45	80	100	120	125	120	100	80	45	0

По полученным значениям x и y строим в определенном масштабе траекторию (рис. 22).

Как видно из рис. 22, траектория снаряда в данном случае получилась симметричной относительно наибольшей ординаты. Симметричность является основным свойством траектории в безвоздушном пространстве. Исследование уравнения траектории показывает, что траектория в безвоздушном пространстве является симметричной кривой — параболой. Поэтому и теория движения снаряда в безвоз-

душном пространстве (т. е. без учета силы сопротивления воздуха) называется **параболической теорией.**

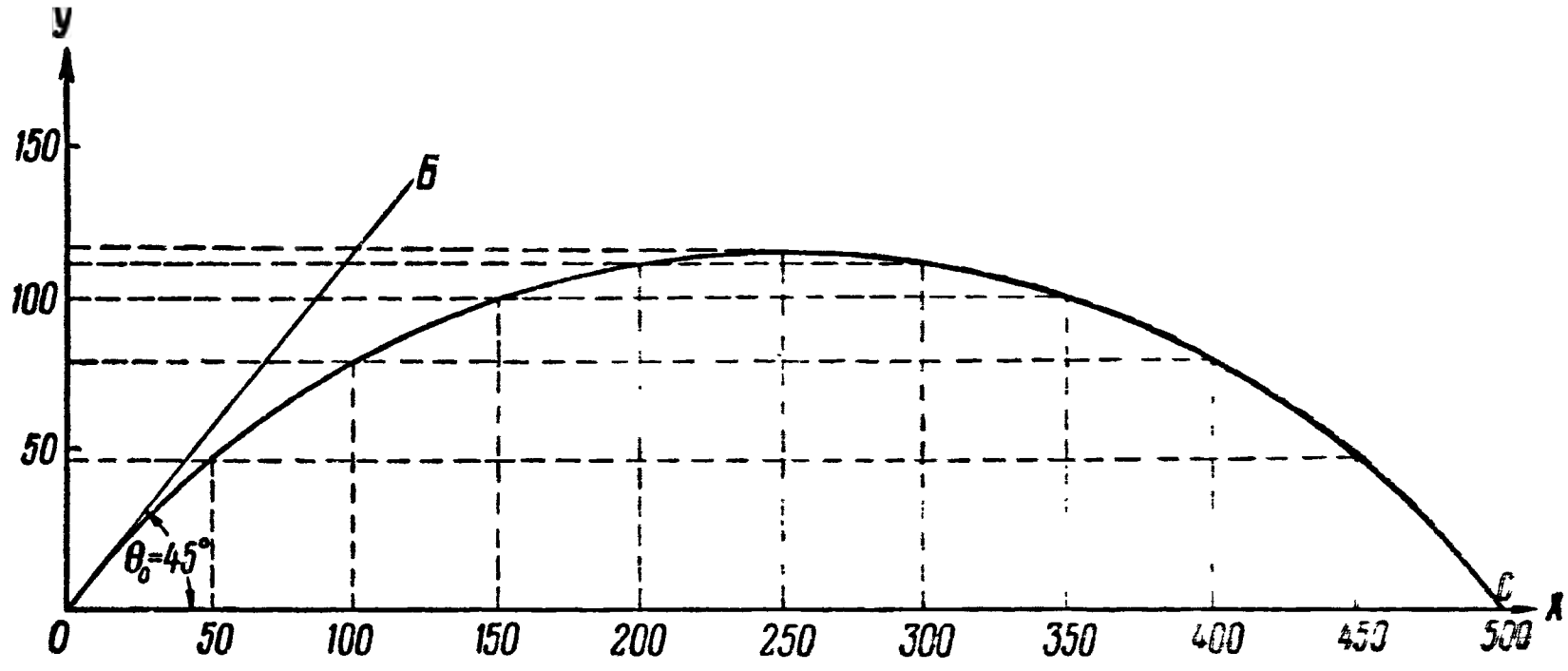


Рис. 22. Траектория 82-*мм* мины в безвоздушном пространстве

Для дальнейшего изучения траектории необходимо дать определение основным ее элементам (рис. 23).

Точка вылета *O* — центр дульного среза ствола.

Горизонт оружия — горизонтальная плоскость, проходящая через точку вылета (на чертежах горизонт оружия обозначается линией горизонта).

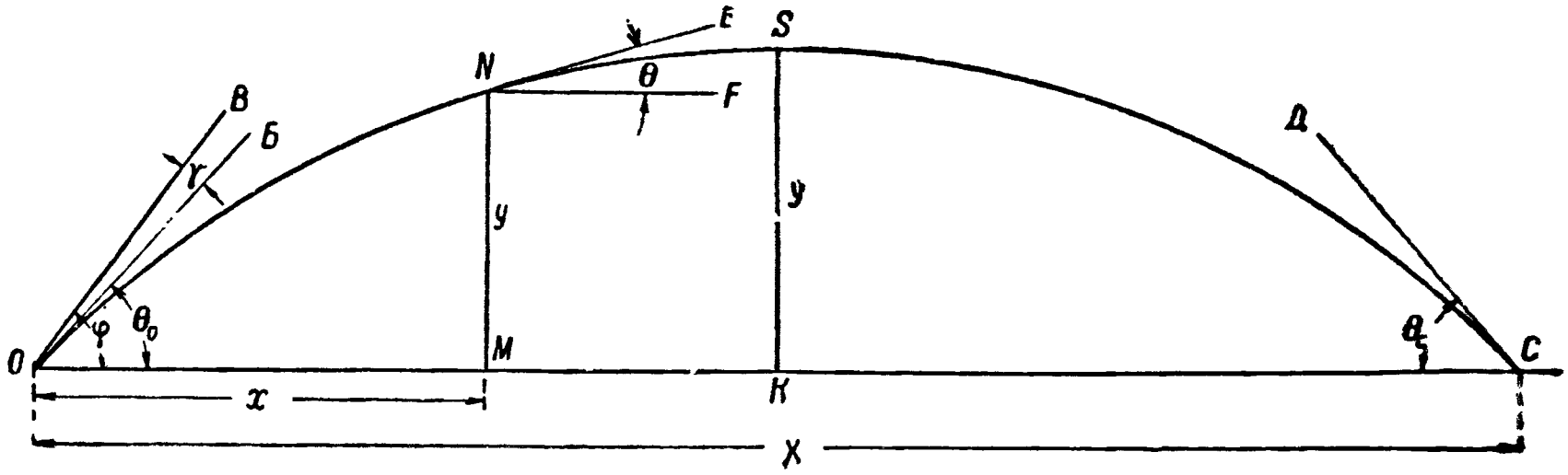


Рис. 23. Траектория и ее элементы

Вершина траектории *S* — наивысшая точка траектории над горизонтом оружия.

Точка падения (табличная) *C* — точка пересечения траектории с горизонтом оружия.

Восходящая ветвь *OS* — часть траектории от точки вылета до вершины.

Нисходящая ветвь *SC* — часть траектории от вершины до точки падения (табличной).

Превышение траектории *MN*, *y* — кратчайшее расстояние от любой точки траектории до горизонта оружия; **высота траектории** *KS*, *Y* — наибольшее превышение, кратчайшее расстояние от вершины траектории до горизонта оружия.

Линия возвышения OB — прямая линия, являющаяся продолжением оси канала ствола наведенного оружия.

Линия бросания $OБ$ — прямая линия, являющаяся продолжением оси канала ствола в момент вылета снаряда (касательная к траектории в точке вылета).

Горизонтальная дальность OM, x — горизонтальная проекция пути снаряда до произвольной точки. **Полная горизонтальная дальность** OC, X — расстояние от точки вылета до точки падения (табличной).

Угол возвышения $\angle COB$, φ — угол, образованный горизонтом оружия и линией возвышения. При стрельбе сверху вниз возможны случаи, когда линия возвышения будет проходить ниже горизонта оружия. При этом угол возвышения называется **углом склонения.**

Угол наклона касательной $\angle FNE$, θ — угол, образованный горизонтальной плоскостью и касательной к траектории в произвольной точке. В точке вылета этот угол называется **углом бросания** $\angle COБ$, θ_0 — угол, образованный горизонтом оружия и линией бросания. В точке падения (табличной) этот угол называется **углом падения** (табличным) $\angle OCD$, θ_c — угол, образованный горизонтом оружия и касательной к траектории в точке падения (табличной).

Угол вылета $\angle BOБ$, γ — угол, образованный линией возвышения и линией бросания. Если линия бросания проходит выше линии возвышения, угол вылета считается положительным (+), а если ниже — отрицательным (—).

Скорость снаряда v — скорость в произвольной точке; **начальная скорость** v_0 — скорость снаряда в точке вылета; **окончательная скорость** v_c — скорость снаряда в точке падения (табличной).

Время полета t — промежуток времени от момента вылета снаряда до момента достижения произвольной точки; **полное время полета** T — время полета до точки падения (табличной).

Определим значения основных элементов траектории. Наиболее важными из них являются: полная горизонтальная дальность, высота траектории, скорость снаряда и полное время полета.

Полная горизонтальная дальность. Величине полной горизонтальной дальности отвечает абсцисса точки падения (табличной). А так как в этой точке $y = 0$, то для вычисления полной горизонтальной дальности необходимо решить уравнение траектории (формула 17) при $y = 0$.

Получим:

$$x \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} = 0.$$

Вынесем x за скобки и решим уравнение:

$$x\left(\operatorname{tg} \theta_0 - \frac{gx}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}\right) = 0.$$

В этом уравнении два корня, из которых $x_1 = 0$, что соответствует точке вылета, а $x_2 = X$, что соответствует полной горизонтальной дальности.

Решая, получим:

$$\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gX}{2v_0^2\cos^2\theta_0} = 0;$$

$$X = \frac{2v_0^2\cos^2\theta_0\operatorname{tg}\theta_0}{g} = \frac{2v_0^2\sin\theta_0\cos\theta_0}{g};$$

$$X = \frac{v_0^2\sin 2\theta_0}{g}. \qquad (18)$$

Следовательно, полная горизонтальная дальность полета снаряда зависит от: 1) начальной скорости (чем больше v_0, тем больше X); 2) угла бросания (наибольшее значение X получится при $\sin 2\theta_0 = 1$, т. е. при $2\theta_0 = 90°$, $\theta_0 = 45°$).

Таким образом, в безвоздушном пространстве наибольшая полная горизонтальная дальность соответствует углу бросания $\Theta_0 = 45°$ и выражается формулой:

$$X_{max} = \frac{v_0^2}{g}. \qquad (19)$$

Следовательно, при всех углах $\theta_0 < 45°$ и $\theta_0 > 45°$ величина полной горизонтальной дальности меньше наибольшей. При $\theta_0 = 0$ и $\theta_0 = 90°$

$$\sin 2\Theta_0 = \sin 0 = \sin 180° = 0,$$

т. е. при углах бросания 0 и 90° полная горизонтальная дальность равна нулю.

Высота траектории. Высота, как указывалось выше, делит траекторию в безвоздушном пространстве на две равные части. Следовательно, для того чтобы определить высоту траектории, необходимо в уравнение траектории подставить значение x_s, равное половине полной горизонтальной дальности:

$$x_s = \frac{v_0^2\sin 2\theta_0}{2g};$$

$$Y = y_s = \frac{v_0^2\sin 2\theta_0}{2g}\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gv_0^4\sin^2 2\theta_0}{4g^2 2v_0^2\cos^2\theta_0}.$$

После сокращений и преобразований получим:

$$Y = y_s = \frac{v_0^2\sin^2\theta_0}{2g}. \qquad (20)$$

Умножив числитель и знаменатель формулы (20) на $2\cos\theta_0$ и произведя несложные преобразования, можно получить и другое выражение высоты траектории — через полную горизонтальную дальность:

$$Y = X\frac{\operatorname{tg}\theta_0}{4}. \qquad (21)$$

Скорость полета снаряда. Для определения скорости полета снаряда в произвольной точке используем теорему, согласно которой приращение кинетической энергии равно затраченной работе.

В точке вылета кинетическая энергия снаряда равна $\frac{mv_0^2}{2}$, а в произвольной точке кинетическая энергия снаряда равна $\frac{mv^2}{2}$. Следовательно, приращение кинетической энергии составляет $\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$. Так как на снаряд действует одна только сила тяжести, работа равна произведению силы тяжести на путь, пройденный снарядом по направлению действия этой силы. Сила тяжести действует вертикально вниз, следовательно, нас интересует величина вертикального перемещения снаряда, которая определяется величиной превышения траектории в данной точке y. Но так как действие силы тяжести направлено в сторону, противоположную перемещению снаряда, величина затраченной работы будет величиной отрицательной.

Следовательно, вышеприведенная теорема в данном случае может быть записана так:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = -qy,$$

где q — сила тяжести (вес снаряда).

Но $q = mg$.

Тогда

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = -mgy.$$

После сокращения на m и преобразования получим:

$$v = \sqrt{v_0^2 - 2gy}. \qquad (22)$$

Из формулы (22) видно, что с увеличением y скорость снаряда уменьшается. Следовательно, наименьшую скорость снаряд имеет в вершине траектории. Наибольшую скорость снаряд имеет в точках, в которых $y = 0$, т. е. в точке вылета и в точке падения (табличной).

Полное время полета снаряда. Полное время полета снаряда определяется подстановкой в формулу (16) значения X:

$$T = \frac{X}{v_0 \cos \theta_0} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g v_0 \cos \theta_0}.$$

После преобразования и сокращения получим:

$$T = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g}. \qquad (23)$$

Аналогично определяются и другие элементы траектории. В табл. 3 указаны значения различных элементов траектории в произвольной точке, в вершине траектории и в точке падения (табличной).

Таблица 3

Элементы	В произвольной точке	В вершине S	В точке падения (табличной) C
x	$x = v_0 t \cos\theta_0$	$x_s = \frac{X}{2} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g}$	$x_c = X = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g}$
y	$y = x \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2\theta_0}$	$y_s = Y = \frac{v_0^2 \sin^2\theta_0}{2g} = X\frac{\operatorname{tg}\theta_0}{4}$	$y_c = 0$
t	$t = \frac{x}{v_0 \cos\theta_0}$	$t_s = \frac{T}{2} = \frac{v_0 \sin\theta_0}{g}$	$t_c = T = \frac{2v_0 \sin\theta_0}{g}$
v	$v = \sqrt{v_0^2 - 2gy}$	$v_s = v_0 \cos\theta_0$	$v_c = v_0$
θ	$\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gx}{v_0^2 \cos^2\theta_0}$	$\theta_s = 0$	$\lvert\theta_c\rvert = \theta_0$

Пример. Стрельба ведется из 82-*мм* миномета под углом бросания $\theta_0 = 60°$ с начальной скоростью $v_0 = 70$ *м/сек.*

Определить: 1) полную горизонтальную дальность полета мины; 2) полное время полета мины; 3) высоту траектории; 4) наименьшую скорость полета мины; 5) значение y, t, v, θ в точке $x = 100$ *м.*

Решение. 1. Определяем полную горизонтальную дальность X:

$$X = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g} = \frac{70^2 \cdot \sin 120°}{9{,}81} = \frac{4900 \cdot 0{,}866}{9{,}81} \approx 433 \text{ м}.$$

2. Определяем полное время полета T:

$$T = \frac{2v_0 \sin\theta_0}{g} = \frac{2 \cdot 70 \cdot 0{,}866}{9{,}81} \approx 12{,}4 \text{ сек}.$$

3. Определяем высоту траектории Y:

$$Y = X\frac{\operatorname{tg}\theta_0}{4} = \frac{433 \cdot 1{,}732}{4} \approx 187 \text{ м}.$$

4. Определяем скорость мины в вершине траектории v_s:

$$v_s = v_0 \cos\theta_0 = 70 \cdot 0{,}5 = 35 \text{ м/сек}.$$

5. Определяем значения элементов при $x = 100$ *м*:

а) $y = x \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2\theta_0} = 100 \cdot 1{,}732 - \frac{9{,}81 \cdot 100^2}{2 \cdot 70^2 \cdot 0{,}5^2} \approx 133$ *м*;

б) $t = \frac{x}{v_0 \cos\theta_0} = \frac{100}{70 \cdot 0{,}5} \approx 2{,}86$ сек.;

в) $v = \sqrt{v_0^2 - 2gy} = \sqrt{70^2 - 2 \cdot 9{,}81 \cdot 133} \approx 47{,}85$ *м/сек*;

г) $\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gx}{v_0^2 \cos^2\theta_0} = 1{,}732 - \frac{9{,}81 \cdot 100}{70^2 \cdot 0{,}5^2} \approx 0{,}932$;

$$\theta = 43°.$$

Если сравнить полученные элементы траектории мины с табличными, рассчитанными с учетом силы сопротивления воздуха, то данные почти сходятся. Это объясняется тем, что при небольших скоростях снарядов (меньших, чем скорость звука) сила сопротивления воздуха не оказывает существенного влияния на полет снаряда, его траектория близка к параболической форме.

Свойства траектории

Из приведенных выводов можно установить свойства траектории снаряда без учета силы сопротивления воздуха.

1. Траектория есть кривая симметричная (осью симметрии является высота траектории).

2. Скорость снаряда уменьшается от точки вылета к вершине траектории и увеличивается от вершины к точке падения; равным превышениям соответствуют равные скорости; скорость в точке падения (табличной) равна скорости в точке вылета.

3. Время полета снаряда от точки вылета до вершины траектории равно времени полета от вершины до точки падения (табличной).

4. Угол падения (табличный) по своей абсолютной величине равен углу бросания.

5. Наибольшая полная горизонтальная дальность полета снаряда соответствует углу бросания 45°. При стрельбе под углами бросания 0 и 90° полная горизонтальная дальность равна нулю. При углах бросания $45° + \alpha$ и $45° - \alpha$ полные горизонтальные дальности равны между собой.

Значение параболической теории

На начальной стадии развития артиллерийской науки параболическая теория была единственным средством познания характеристик движения снаряда в воздухе. В настоящее время она является только первой ступенью к изучению закономерностей движения снаряда в воздухе. Но, кроме того, параболическая теория имеет и свое самостоятельное значение. При стрельбе из оружия, для которого начальные скорости невелики (минометы), влияние силы сопротивления воздуха незначительно; вследствие этого расчеты по формулам параболической теории дают результаты, настолько близкие к истинным, что возможно пользоваться ими при приближенных расчетах. Еще более точные результаты дают расчеты по этим формулам траекторий противотанковых и ручных гранат, у которых начальные скорости не превышают 50 *м/сек*. Формулы параболической теории применяются также при расчетах сверхдальней стрельбы, так как в этом случае снаряд пролетает большое расстояние в верхних, разреженных слоях атмосферы, где сила сопротивления воздуха оказывает ничтожное влияние. И, наконец, часть зависимостей, полученных без учета силы сопро-

тивления воздуха, может быть использована для приближенного определения элементов траектории в воздухе и для расчета поправочных данных.

2. ДВИЖЕНИЕ СНАРЯДА В ВОЗДУХЕ

При полете снаряда в воздухе на него оказывает действие, кроме силы тяжести, и сила сопротивления воздуха. Действие этой силы весьма значительно, особенно для пуль, имеющих небольшую массу и большую скорость полета. Достаточно указать, что сила сопротивления воздуха, действующая на пулю обр. 1908 г. при скорости 865 *м/сек*, в 83 раза больше силы тяжести.

Для того чтобы выяснить влияние, оказываемое силой сопротивления воздуха, установим прежде всего, чем вызывается сопротивление воздуха движущемуся телу.

Сопротивление воздуха

Сопротивление воздуха полету снаряда вызывается тремя основными факторами: образованием пограничного слоя, отрывом пограничного слоя с образованием завихрений и образованием баллистической волны. Каждый из этих факторов проявляется либо в результате разности давления воздуха на головную и донную части снаряда, либо в результате трения воздуха о снаряд.

1. **Образование пограничного слоя.** Воздух обладает свойством вязкости, которое обусловливается наличием внутреннего сцепления частиц. При движении снаряда частицы воздуха, непосредственно примыкающие к снаряду, вследствие сцепления с его поверхностью движутся со скоростью снаряда. Следующий слой частиц воздуха вследствие внутреннего сцепления также приходит в движение, но уже с несколько меньшей скоростью. Движение этого слоя передается следующему, и так до тех пор, пока скорость частиц воздуха не станет равной нулю. Образуется так называемый **пограничный слой** — слой воздуха, непосредственно примыкающий к поверхности снаряда, в котором движение частиц изменяется от скорости снаряда до нуля (рис. 24). На образование пограничного слоя, т. е. на приведение в движение частиц воздуха, используется часть энергии снаряда, что приводит к уменьшению скорости его полета.

2. **Отрыв пограничного слоя и образование завихрений.** Отрыв пограничного слоя наблюдается у донной части снаряда за максимальным поперечным сечением. За донной частью снаряда образуется разреженное пространство, куда устремляются частицы воздуха, создавая вихревое движение (см. рис. 24). Вследствие образования разреженного пространства давление на головную часть снаряда больше, чем на донную его часть (давление на головную часть снаряда больше атмосферного, а на донную примерно равно $^1/_3$, $^1/_4$ *атм*). Следовательно, снаряд расходует часть своей энергии на преодоление силы, образующейся в результате разности давлений на головную и донную части снаряда, и на

вихреобразование, что также приводит к уменьшению скорости снаряда.

3. **Образование баллистической волны.** При движении снаряда перед ним образуется уплотнение воздуха. В зависимости от скорости движения снаряда это уплотнение или не оказывает дополнительного сопротивления движению снаряда, или создает так называемую **баллистическую волну.** Для выяснения сущности баллистической волны представим снаряд в виде движущейся материальной точки. Из физики известно, что уплотнения воздуха, образующиеся при движении материальной точки, распространяются

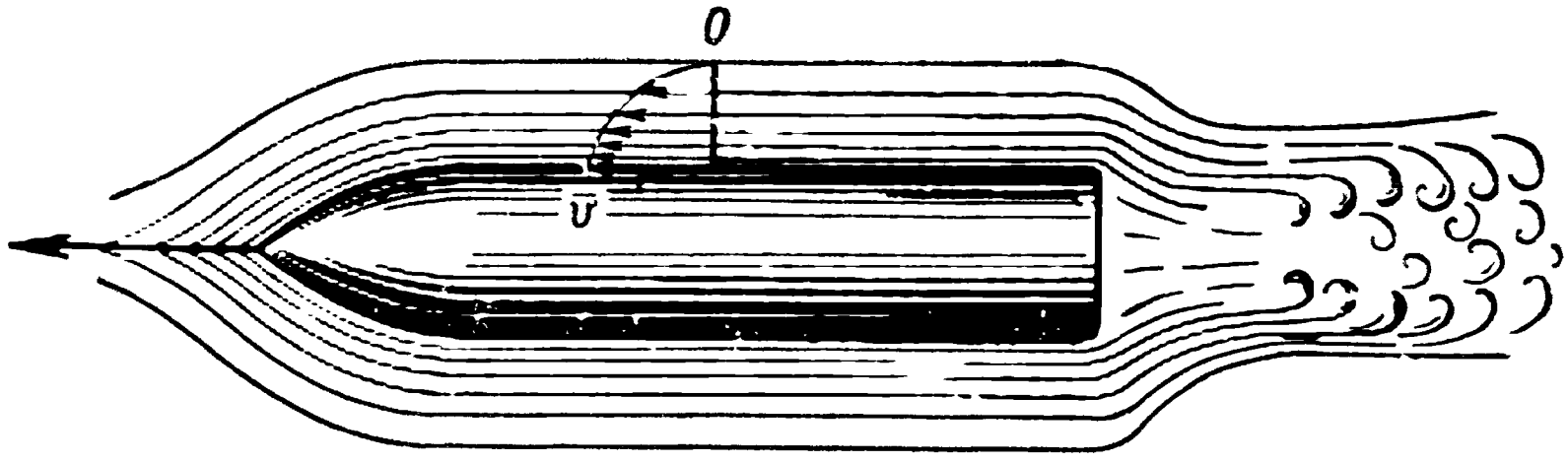


Рис. 24. Пограничный слой и образование завихрений

по сфере со скоростью звука (при температуре воздуха $+15^{\circ}$ $a = 340{,}8$ *м/сек*). Рассмотрим два случая движения материальной точки: со скоростью, меньшей скорости звука ($v < a$), и со скоростью, большей скорости звука ($v > a$).

I. $v < a$. Пусть в данный момент точка занимает положение M (рис. 25) и движется равномерно справа налево. t секунд тому назад точка занимала какое-то положение M_1. Следовательно, $M_1M = vt$. Уплотнения, образовавшиеся в точке M_1, распространились по сфере радиуса $at > vt$. $2t$ секунд тому назад точка занимала положение M_2; $M_2M = 2\ vt$. Уплотнения, образовавшиеся в точке M_2 за $2t$ секунд, распространились по сфере радиуса $2at > 2vt$ и т. д.

Следовательно, можно сделать вывод, что при движении материальной точки со скоростью $v < a$ образующиеся уплотнения обгоняют движущуюся точку, находятся все время впереди нее и поэтому не оказывают дополнительного сопротивления движению точки.

II. $v > a$. Проведя аналогичное рассуждение, получим, что $vt > at$; $2vt > 2at$ и т. д. Следовательно, в случае $v > a$ материальная точка движется быстрее распространения уплотнений, т. е движется в возмущенной среде (рис. 26). Если мы из точки M проведем касательные к сферам уплотнений, то получим границу, представляющую коническую поверхность, до которой уплотнения доходят одновременно.

Так как реальный снаряд не является точкой, источником описанных возмущений воздушной среды является каждая точка поверхности снаряда. В результате суммирования всех конических

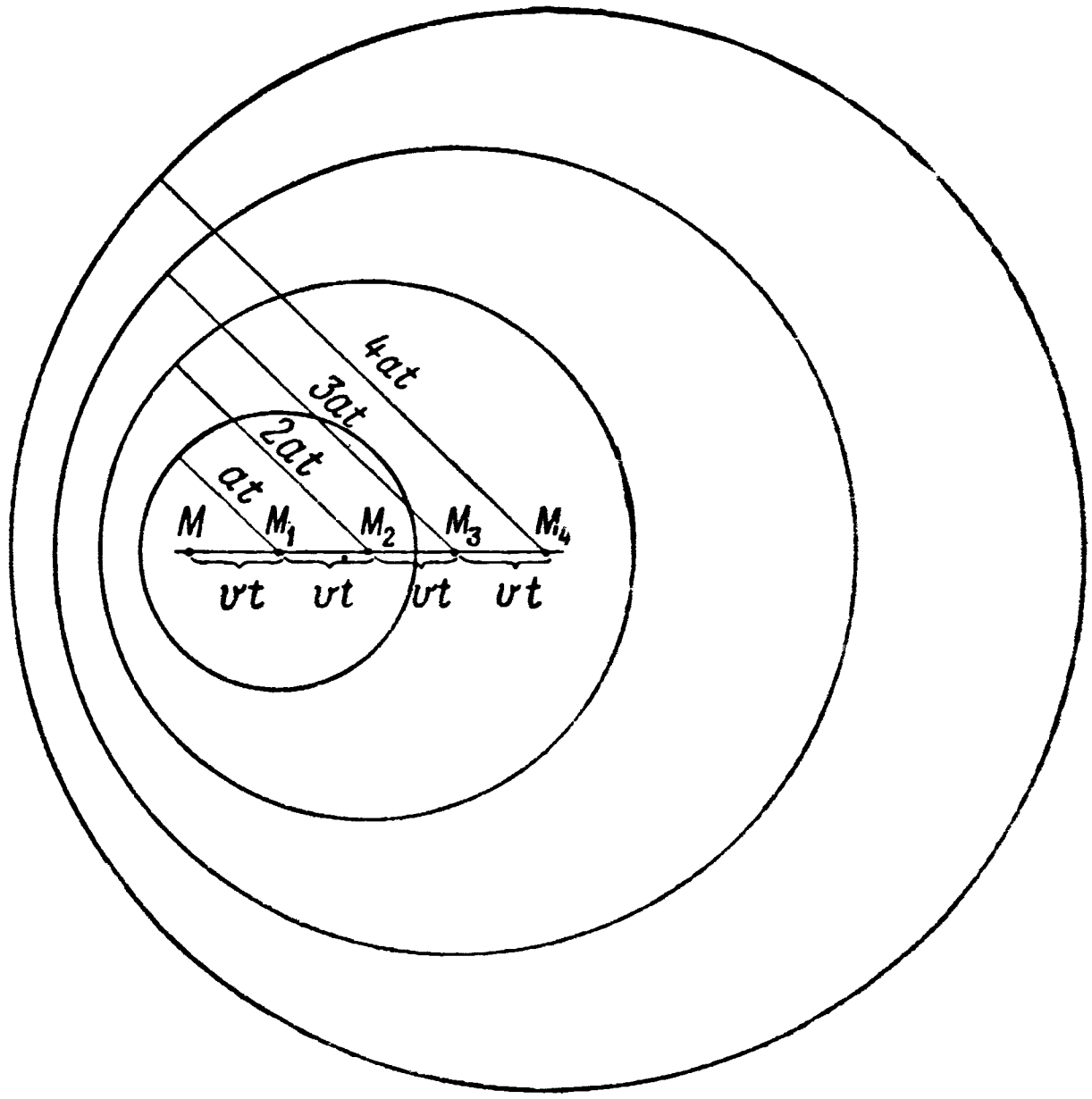


Рис. 25. Распространение уплотнений воздуха при $v < a$

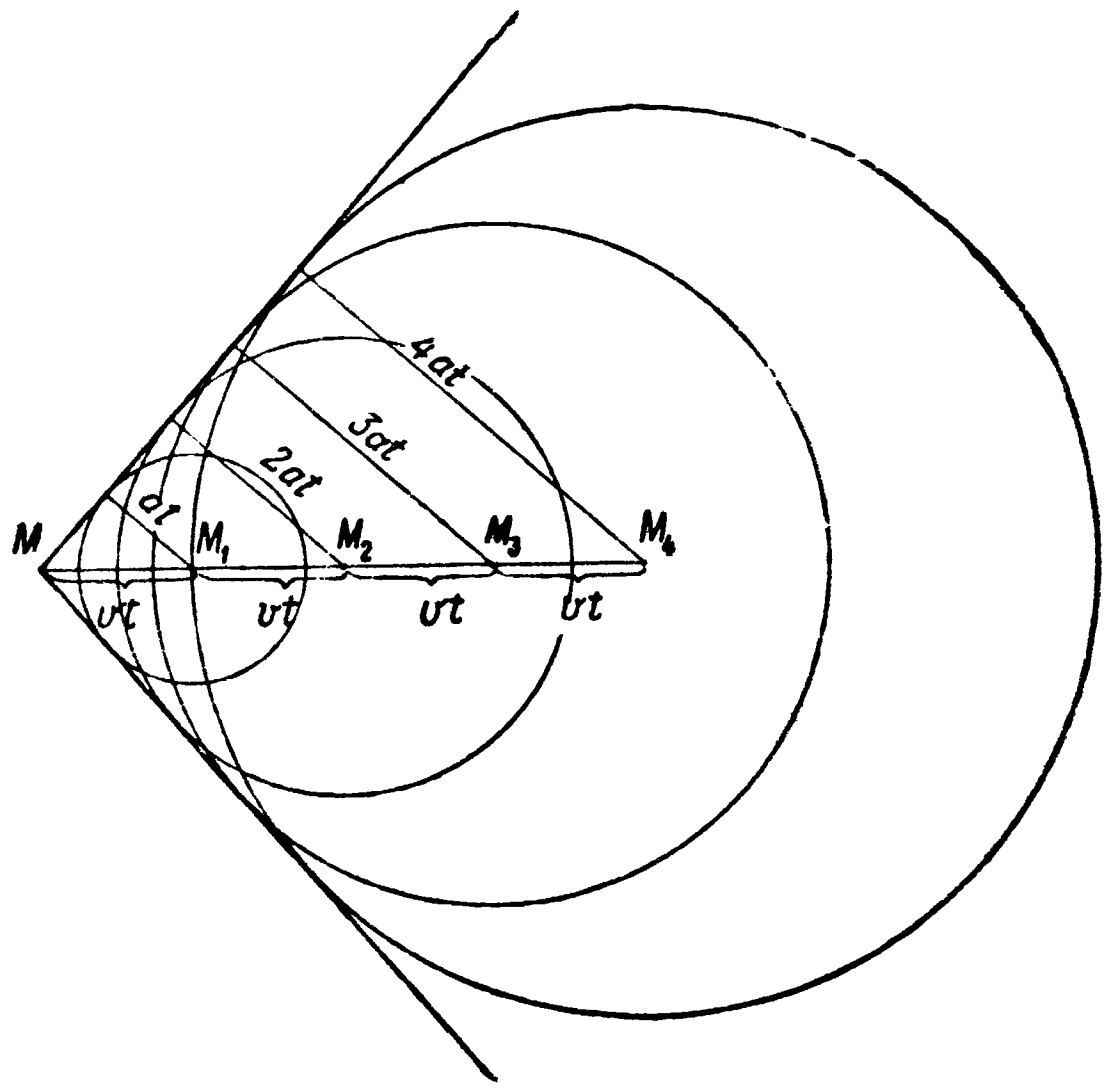


Рис. 26. Распространение уплотнений воздуха при $v > a$

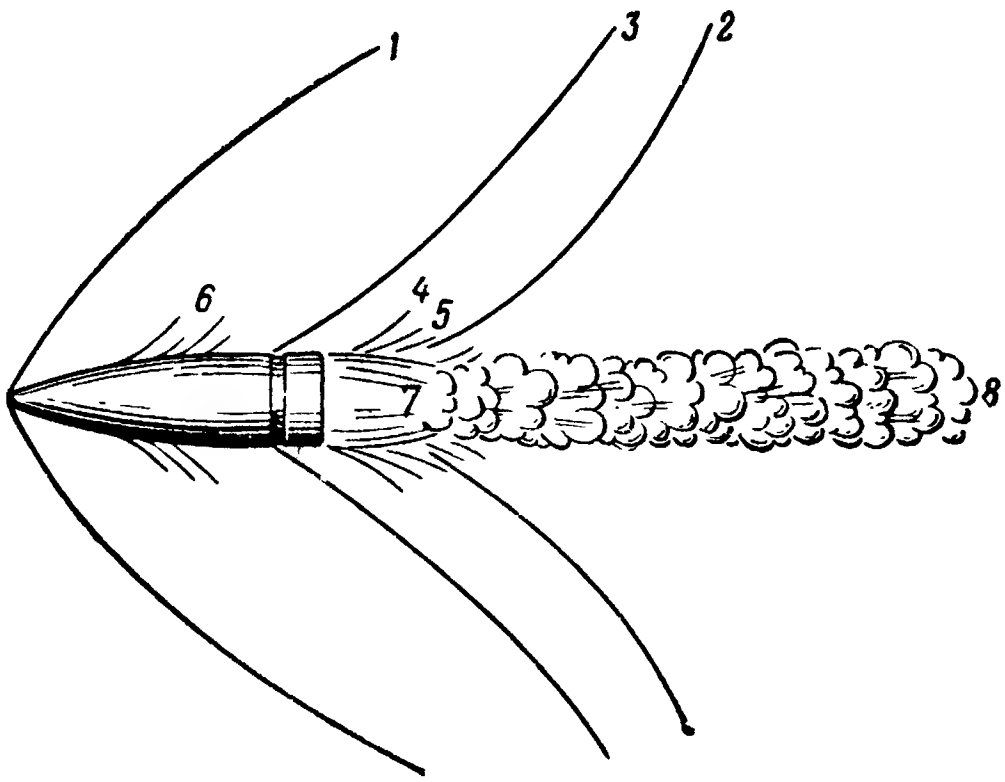


Рис. 27. Схема явлений, получаемых на фотографии:

1 — головная волна; *2* — хвостовая волна; *3* — волна, отходящая от места обжима дульца гильзы; *4, 5* — слабые волны, отходящие от края дна; *6* — волны от шероховатости поверхности пули; *7* — разреженное пространство; *8* — завихрения

поверхностей образуется зона возмущений в виде конической обертывающей, имеющей протяжение по глубине; эта коническая обертывающая называется **головной, или баллистической волной.** Таким образом, баллистическая волна представляет собой скачок уплотнений, а следовательно, имеет место и скачок давления. По имеющимся данным, для снарядов, обладающих скоростью 600—900 *м/сек*, скачок давления составляет 5—9 *атм*. Образование баллистической волны является основным фактором, вызывающим сопротивление воздуха снаряду, движущемуся со скоростью, большей скорости звука.

При помощи специальных фотоустановок можно сфотографировать снаряд на полете. Явления, получаемые на фотографии, схематически изображены на рис. 27. На рисунке видно, что волна образуется не только впереди снаряда, но и у хвостовой, и у некоторых других его частей.

Сила сопротивления воздуха

Суммарная сила сопротивления, образующаяся при действии указанных факторов, и есть **сила сопротивления воздуха.**

Для определения величины силы сопротивления воздуха имеется ряд формул, полученных на основании теоретических исследований и опытных данных. Приведем одну из них:

$$R = \frac{id^2}{g} 10^3 H(y) F(v), \qquad (24)$$

где R — сила сопротивления воздуха в килограммах;
i — коэффициент формы снаряда;
d — калибр снаряда в метрах;
$H(y)$ — функция, определяющая зависимость плотности воздуха от высоты;
$F(v)$ — функция, определяющая зависимость величины силы сопротивления воздуха от скорости снаряда.

Таким образом, величина силы сопротивления воздуха зависит от формы снаряда, его калибра, плотности воздуха и скорости снаряда.

Рассмотрим влияние каждого из указанных факторов.

1. **Форма снаряда входит** в формулу значением коэффициента формы i. Коэффициент формы определяется из сравнения формы данного снаряда с формой снаряда, принятого за эталон (сравнение производится путем расчетов на основании специальных стрельб) [1]. Чем выгоднее форма снаряда, тем меньше величина i, тем меньше сила сопротивления воздуха, действующая на снаряд.

В зависимости от условий полета снаряда в воздухе наиболее выгодной формой является: для **сверхзвуковых скоростей**, когда основное сопротивление оказывает баллистическая волна,— снаряд с остроконечной головной частью длиной до 3,5 калибра и с небольшой конусностью в донной части для уменьшения завихрений; для **дозвуковых скоростей**, когда баллистическая волна не образуется и основное сопротивление оказывает образование завихрений,— снаряд с удлиненной и заостренной донной частью и тупой головной частью.

2. **Калибр снаряда** d. Сила сопротивления воздуха изменяется прямо пропорционально квадрату калибра снаряда. Это значит, что если калибр увеличить вдвое, сохраняя форму снаряда, то в аналогичных условиях сила сопротивления воздуха возрастет в четыре раза.

3. **Плотность воздуха** учитывается функцией $H(y)$, выражающей относительную плотность воздуха на данной высоте y:

$$H(y) = \frac{\text{П}}{\text{П}_{0N}},$$

где П — плотность воздуха на данной высоте в данный момент;

П_{0N} — нормальная плотность воздуха у поверхности земли.

Значение $H(y)$ может быть определено, например, по формуле профессора В. П. Ветчинкина:

$$H(y) = \frac{20000 - y}{20000 + y}. \qquad (25)$$

Чем меньше плотность воздуха, тем меньше и величина силы сопротивления воздуха, действующей на снаряд.

При стрельбе из стрелкового оружия по наземным целям ввиду незначительной высоты траектории принимается $H(y) = 1$.

4. **Скорость снаряда.** Влияние скорости снаряда на величину силы сопротивления воздуха выражается в формуле функцией $F(v)$, которая называется **функцией сопротивления.** На графике (рис. 28) показано изменение $F(v)$ при изменении скорости снаряда. На основании графика можно сделать вывод, что чем больше скорость снаряда, тем больше сила сопротивления воздуха. Кроме того, график показывает, что как только скорость снаряда превзойдет скорость звука, функция сопротивления резко возрастет, т. е. сказывается образование баллистической волны. Для определения силы

---

[1] Вообще i — величина переменная для одного и того же снаряда и меняется с изменением скорости; приводимые в табл. 4 величины являются средними расчетными (все значения даны по закону Сиаччи).

сопротивления воздуха значение $F(v)$ можно снять с графика. Например: при скорости пули $v_0 = 735$ *м/сек* $F(v) = 170$ (см. рис. 28).

Пример. Определить величину силы сопротивления воздуха для пули обр. 1930 г. при $v = 500$ *м/сек*. Данные: $d = 0{,}00762$ *м*; $i = 0{,}51$; $H(y) = 1$.

Решение. $F(v) = 87$ (с графика рис. 28).

$$R = \frac{id^2}{g} 10^3 H(y) F(v) = \frac{0{,}51 \cdot 10^3 \cdot 0{,}00762^2 \cdot 1 \cdot 87}{9{,}81} = 0{,}262 \text{ кг}.$$

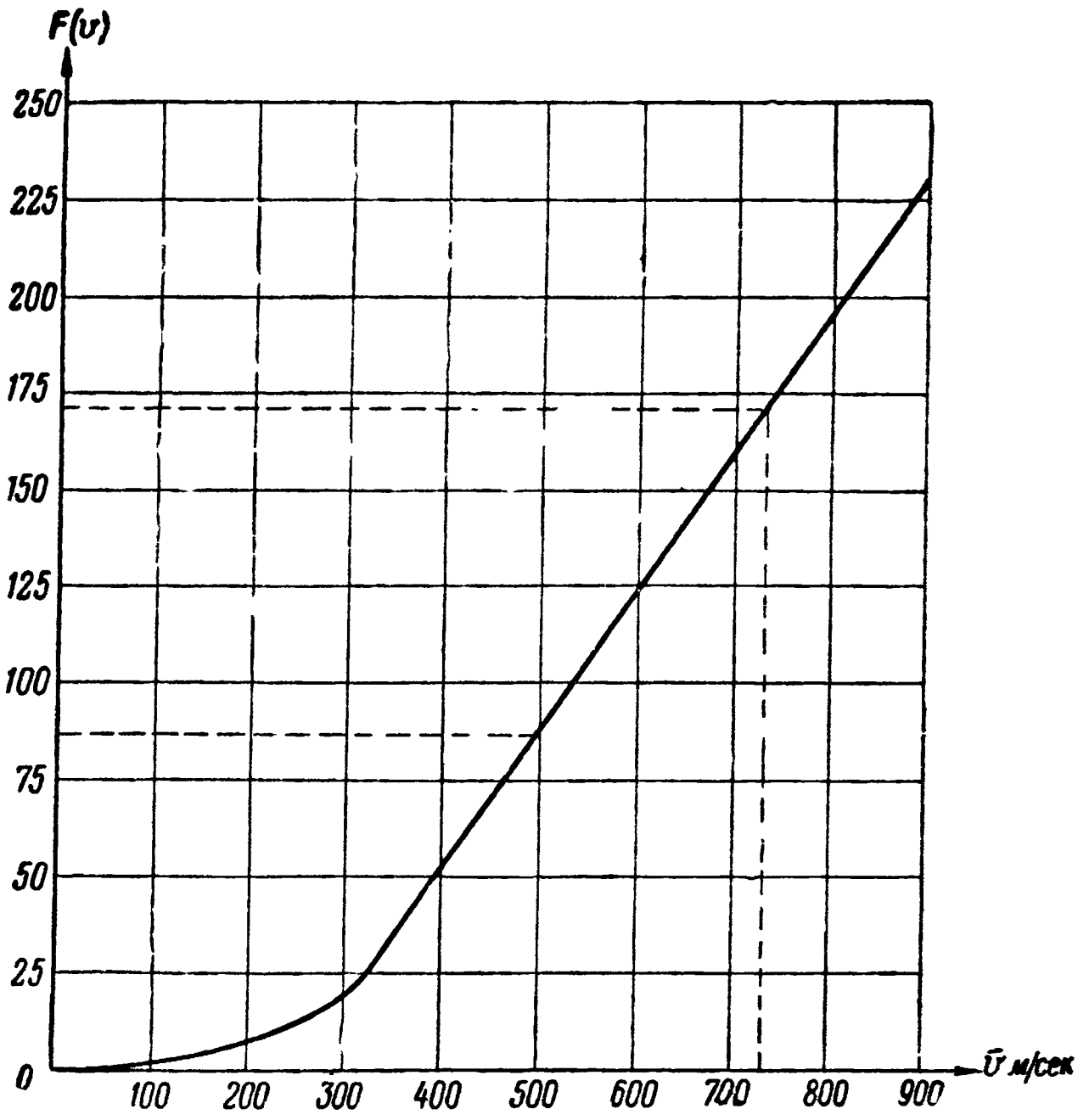


Рис. 28. График $F(v)$

Ускорение силы сопротивления воздуха

Действие силы сопротивления воздуха заключается в уменьшении скорости снаряда, другими словами, сила сопротивления воздуха придает снаряду отрицательное ускорение.

Как известно из физики, ускорение, которое получает тело под действием какой-либо силы, равно отношению величины действующей силы к массе тела, на которое эта сила действует. Если обозначить ускорение силы сопротивления воздуха через j, а массу снаряда через m, то:

$$j = \frac{R}{m};$$

но

$$m = \frac{q}{g};$$

тогда:

$$j = \frac{Rg}{q}. \qquad (26)$$

Подставим в выражение (26) значение R из формулы (24):

$$j = \frac{id^2}{g} 10^3 H(y) F(v) \frac{g}{q}$$

и, сократив на g, перепишем в виде:

$$j = \frac{id^2}{q} 10^3 H(y) F(v).$$

Обозначим:

$$\frac{id^2}{q} 10^3 = c, \tag{27}$$

тогда:

$$j = cH(y) F(v). \tag{28}$$

Величина $c = \frac{id^2}{q} 10^3$ называется **баллистическим коэффициентом снаряда,** так как она учитывает все постоянные для данного снаряда величины, характеризующие его баллистические свойства. Чем меньше баллистический коэффициент, тем меньше ускорение силы сопротивления воздуха. Величина баллистического коэффициента обратно пропорциональна весу снаряда. Это значит, что из двух снарядов одинаковой формы и одного и того же калибра в баллистическом отношении более выгоден тот, у которого больший вес.

Для сравнения баллистических свойств снарядов разного веса и калибра, но имеющих одинаковый коэффициент формы, можно пользоваться величиной, выражающей отношение веса снаряда к площади его наибольшего поперечного сечения и называемой **поперечной нагрузкой** $\left(\frac{q}{s}\right)$.

Умножим числитель и знаменатель формулы (27) на $\frac{\pi}{4}$. Получим:

$$c = \frac{id^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi}{4}}{q \cdot \frac{\pi}{4}};$$

но

$$\frac{\pi d^2}{4} = s$$

(площадь поперечного сечения).

Тогда

$$c = \frac{is \cdot 10^3}{q \cdot \frac{\pi}{4}}, \text{ или } c = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot i}{\frac{q}{s} \cdot \pi}.$$

Из полученного выражения видно, что чем больше величина поперечной нагрузки, тем меньше баллистический коэффициент, тем медленнее снаряд теряет скорость при полете в воздухе.

Сравнительные баллистические данные некоторых пуль помещены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование пули	Коэффициент формы, i	Вес пули, *кг* q	Поперечная нагрузка, $\frac{q}{s}$ *кг/м²*	Баллистический коэффициент, c
7,62-*мм* пуля обр. 1930 г.	0,51	0,0118	259	2,51
7,62-*мм* пуля обр. 1908 г.	0,61	0,0096	211	3,69
7,62-*мм* пистолетная пуля	0,90	0,0055	121	9,30

Для 82-*мм* мины соответственно: $i = 0{,}60$; $\frac{q}{s} = 597$ *кг/м²*; $c = 1{,}27$ (для второго заряда и $\theta_0 = 80°$).

Пример. Определить ускорение силы сопротивления воздуха для пули обр. 1930 г. по условиям предыдущего примера (стр. 60).

Решение. Ускорение силы сопротивления воздуха может быть найдено либо по формуле (26):

$$j = \frac{Rg}{q} = \frac{0{,}262 \cdot 9{,}81}{0{,}0118} \approx 218 \text{ м/сек}^2,$$

либо по формуле (28):

$$j = cH(y)\,F(v) = 2{,}51 \cdot 1 \cdot 87 \approx 218 \text{ м/сек}^2.$$

Действие силы сопротивления воздуха на снаряд

Мы установили, что действие силы сопротивления воздуха уменьшает скорость снаряда, а следовательно, и дальность его полета. Если бы сила сопротивления воздуха была направлена строго вдоль оси снаряда, то ее действие на снаряд сводилось бы только к уменьшению скорости снаряда. В действительности ее действие значительно сложнее.

Теоретические исследования и опытные данные показывают, что между направлением оси снаряда и касательной к траектории вследствие толчков и ударов, испытываемых снарядом (при отрыве от дульного среза) от оружия и вырывающихся газов, сразу же после вылета образуется некоторый угол δ (рис. 29). Поэтому сила сопротивления воздуха действует не вдоль оси снаряда, а под углом к ней.

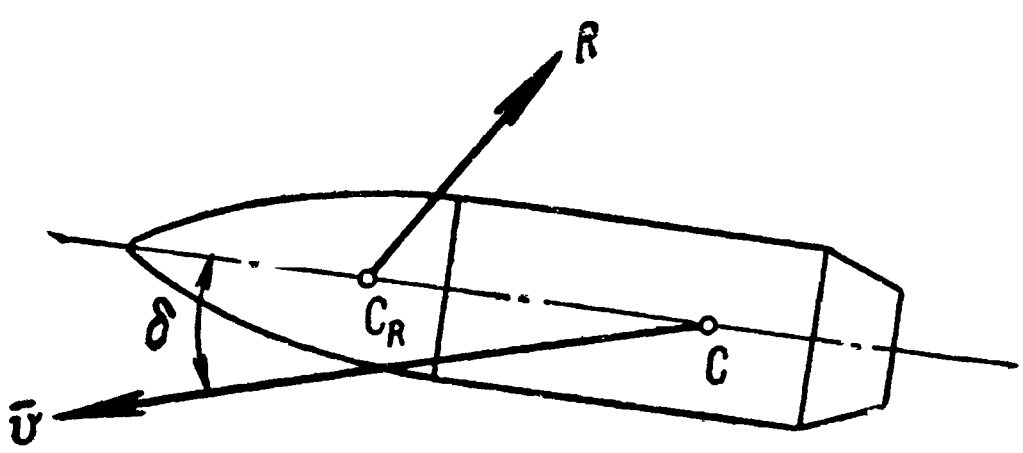


Рис. 29. Действие силы сопротивления воздуха на снаряд

Точка приложения силы сопротивления воздуха, называемая **центром сопротивления** C_R, расположена на оси снаряда ближе к его головной

части. Центр тяжести C снаряда расположен на оси снаряда ближе к его донному срезу (см. рис. 29).

Для более наглядного пояснения действия силы сопротивления воздуха приложим к центру тяжести снаряда две взаимно уравновешивающиеся силы R_1 и R_2, равные по величине и параллельные силе сопротивления R, т. е. $R_1 = R$ и $R_2 = -R$ (рис. 30). Силу R_1 разложим на две составляющие: $R_т$ — направленную по касательной к траектории в сторону, противоположную направлению вектора скорости $\bar{v}$, и $R_п$ — перпендикулярную ей.

Таким образом, действие силы сопротивления на снаряд равносильно одновременному действию на снаряд сил R_1, R_2, $R_т$ и $R_п$.

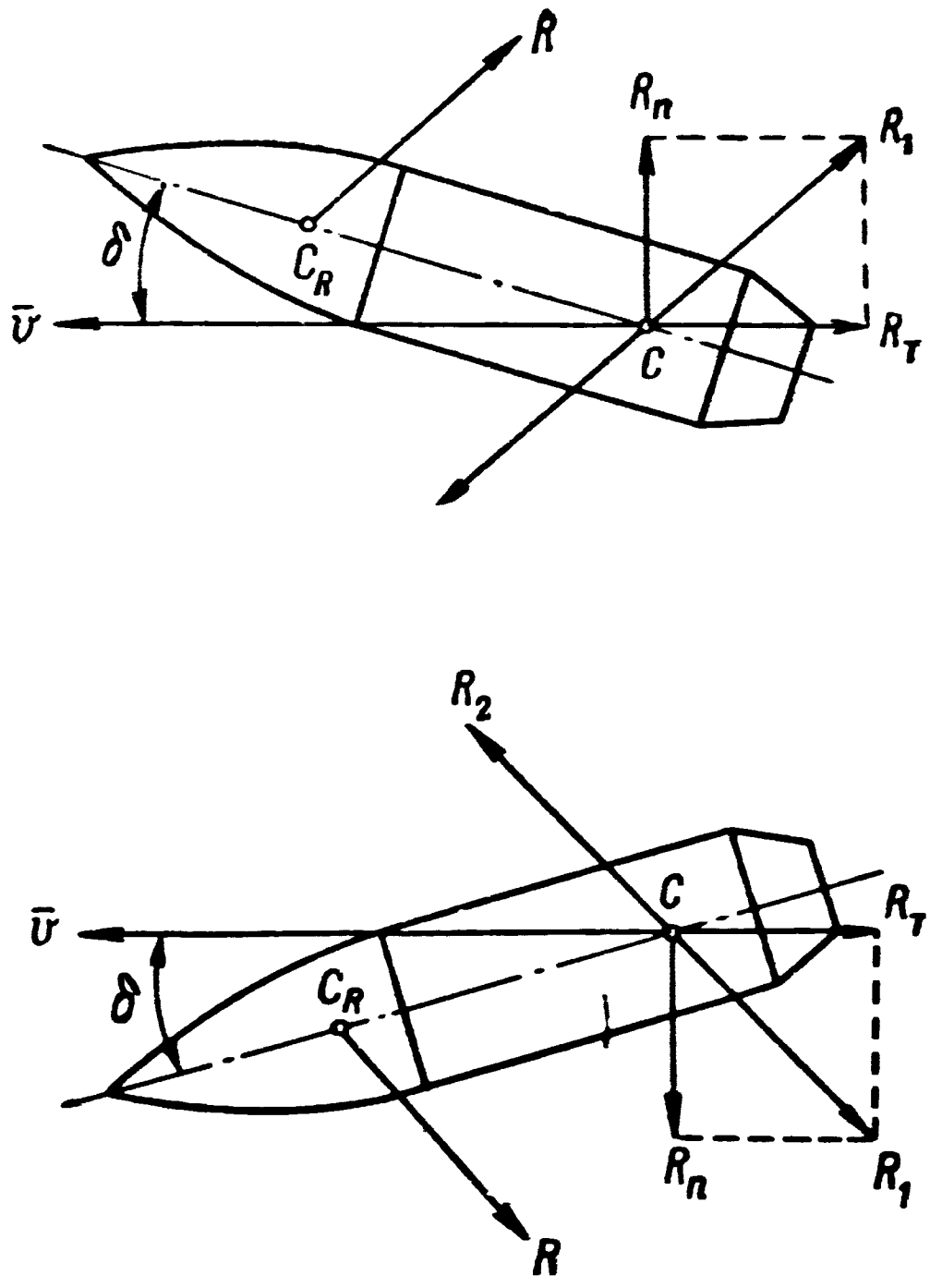


Рис. 30. Разложение силы сопротивления воздуха

Выясним, какое действие оказывает каждая из этих сил (см. рис. 30):

— силы R и R_2 образуют пару сил, стремящуюся опрокинуть снаряд головной частью назад; момент, образованный этой парой, называется **опрокидывающим;**

— сила $R_т$ называется лобовым сопротивлением, она уменьшает скорость снаряда;

— сила $R_п$ отклоняет центр тяжести снаряда в ту сторону, куда отклонена его головная часть (на верхнем рисунке — вверх, на нижнем — вниз).

Итак, сила сопротивления воздуха не только уменьшает скорость снаряда, но и стремится увеличить угол между осью снаряда и касательной к траектории, а это приводит к тому, что снаряд будет опрокидываться головной частью назад. Для обеспечения устойчивости снаряда на полете ему придают быстрое вращательное движение вокруг своей оси, для чего служат нарезы в канале ствола.

Вращательное движение снаряда. Деривация

Всякое симметричное твердое тело, быстро вращающееся вокруг своей оси, называется **гироскопом.** Простейшим гироскопом является волчок. Если попытаться поставить невращающийся волчок

на стол, то, вследствие невозможности установить его строго вертикально, он упадет под действием силы тяжести q. Но если придать волчку быстрое вращательное движение вокруг его оси, то он, как известно, не падает до тех пор, пока скорость вращения остается достаточно большой. Однако ось вращающегося волчка не остается на одном месте, а начинает совершать вокруг вертикальной оси, восстановленной из неподвижной точки опоры O, медленное вращательное движение в сторону вращения волчка (рис. 31). Это вращательное движение оси волчка происходит

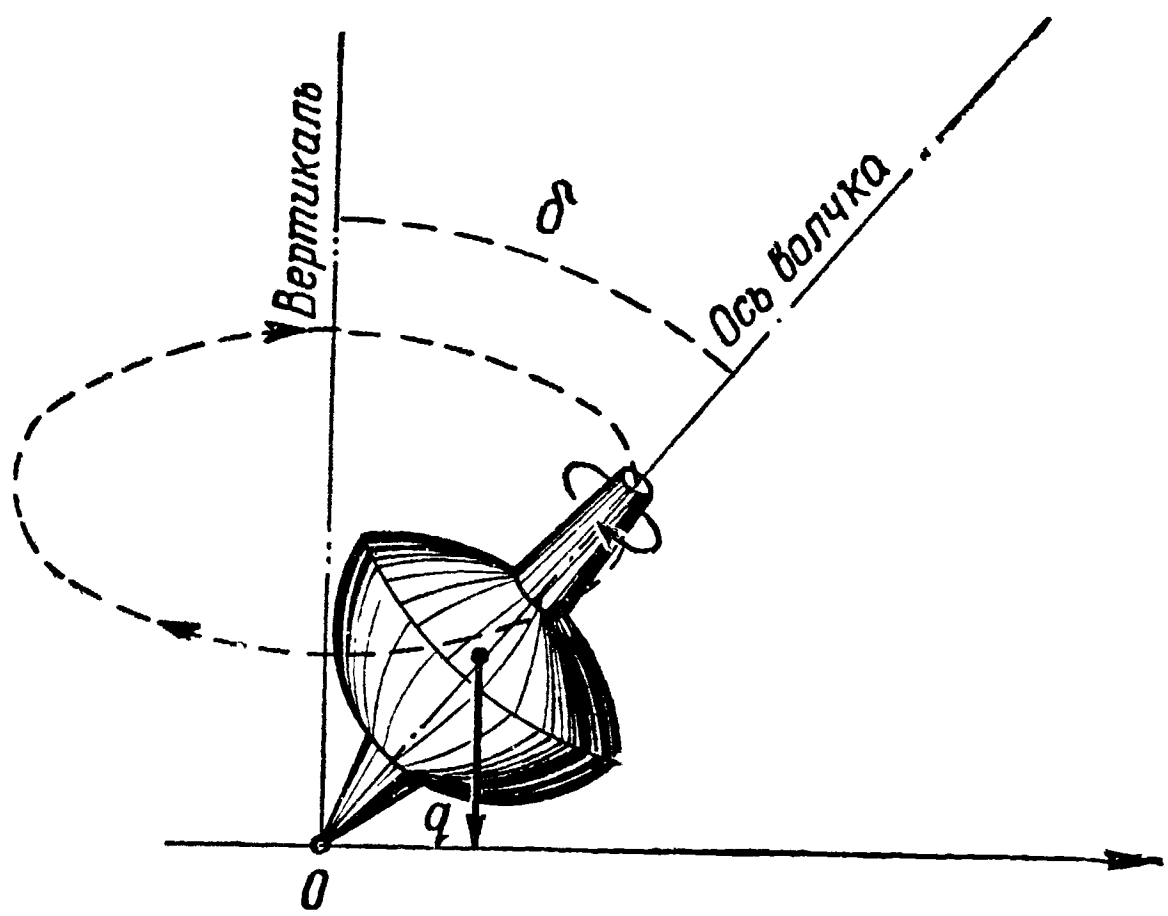


Рис. 31. Схема вращения волчка

в сравнении с собственным вращением волчка очень медленно и называется **медленным коническим движением** (прецессионным движением).

Вращающийся снаряд также является гироскопом, так как он симметричен и быстро вращается вокруг своей оси. Пара сил RR_2 оказывает на снаряд действие, аналогичное тому, какое оказывает на волчок сила q. Поэтому вращающийся снаряд не опрокидывается головной частью назад, а совершает под действием пары сил RR_2 медленное коническое движение вокруг касательной к траектории, что и обеспечивает устойчивость снаряда на полете. Поступательное движение центра тяжести снаряда не влияет на характер вращательного движения.

Но, кроме общих явлений, наблюдаемых при вращении волчка и снаряда, специфические условия полета снаряда приводят к новым явлениям, не наблюдающимся при вращении волчка. Суть этого отличия заключается в том, что ось волчка совершает прецессионное движение вокруг оси, которая все время остается вертикальной, а ось снаряда совершает прецессионное движение вокруг касательной, которая все время меняет свое положение в пространстве вследствие криволинейности траектории.

Начальный участок траектории можно считать прямолинейным. На этом участке осью прецессионного движения является сама траектория и конец оси снаряда описывает кривую, симметричную относительно плоскости стрельбы (рис. 32) (угол δ на рисунке для наглядности значительно увеличен). При стрельбе из стрелкового

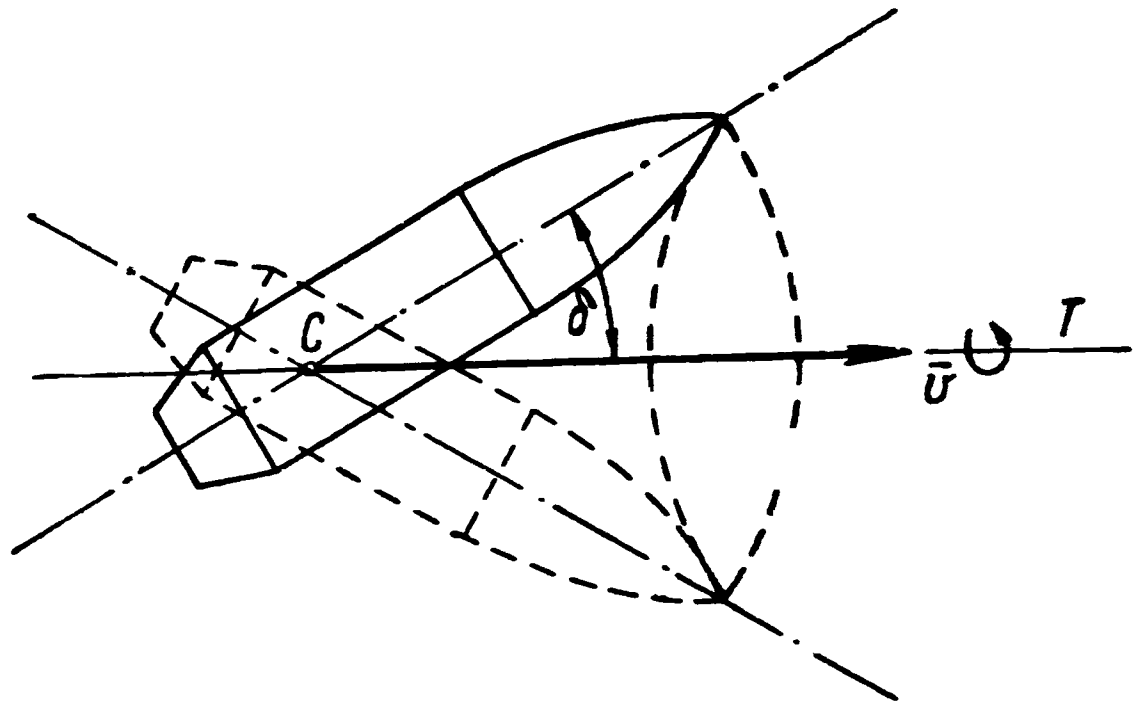


Рис. 32. Медленное коническое движение снаряда на прямолинейном участке траектории

оружия под небольшими углами возвышения длина участка, который можно считать прямолинейным, довольно значительна.

На криволинейном участке траектории происходит непрерывное изменение положения касательной относительно ее положения в момент вылета; это изменение называется понижением касательной.

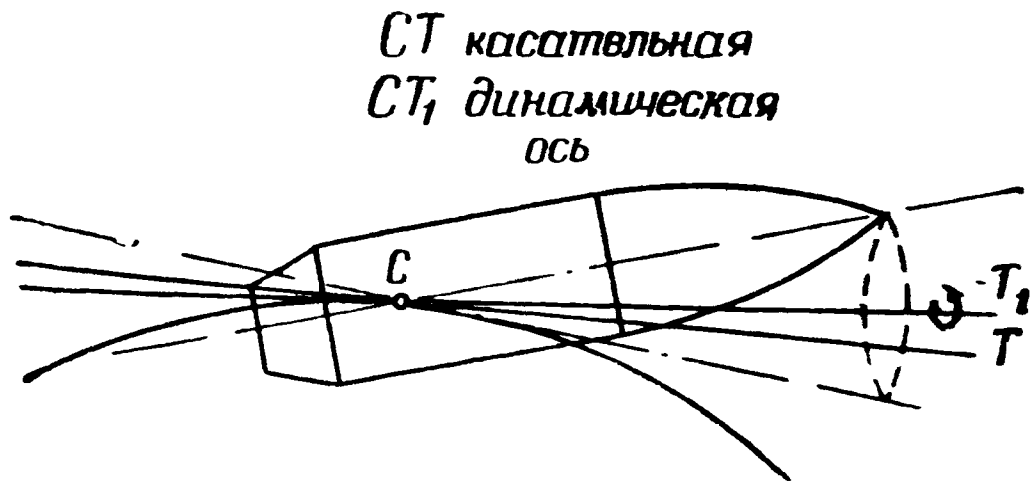


Рис. 33. Медленное коническое движение снаряда на криволинейном участке траектории

Понижение касательной равносильно отклонению оси снаряда в противоположную сторону относительно неподвижной касательной. Таким образом, можно считать, что при движении снаряда по криволинейному участку траектории ось снаряда участвует в двух вращательных движениях одновременно, а именно: в коническом движении вокруг касательной и вверх относительно касательной. В результате этих двух вращательных движений медленное коническое движение оси снаряда будет происходить не вокруг касательной, а вокруг какой-то другой оси, расположенной выше и правее касательной (при правой нарезке). Так как эта ось в каждой последующей точке траектории занимает новое положение, пони-

жаясь вместе с касательной, она называется **мгновенной,** или **динамической осью.** Значит, на криволинейном участке траектории ось снаряда совершает медленное коническое движение не вокруг касательной, а вокруг динамической оси (рис. 33).

Если бы снаряд сохранял первоначальное положение, полученное им во время вылета, не вращаясь своей осью вокруг касательной, то такой снаряд обладал бы **полной гироскопической устойчивостью** (рис. 34). Полная гироскопическая устойчивость возможна: а) при полете в безвоздушном пространстве — отсутствует сопротивление воздуха, следовательно, нет и опрокидывающей пары сил; б) при совмещении центра тяжести и центра сопротивления в одной точке — отсутствует опрокидывающая пара сил;

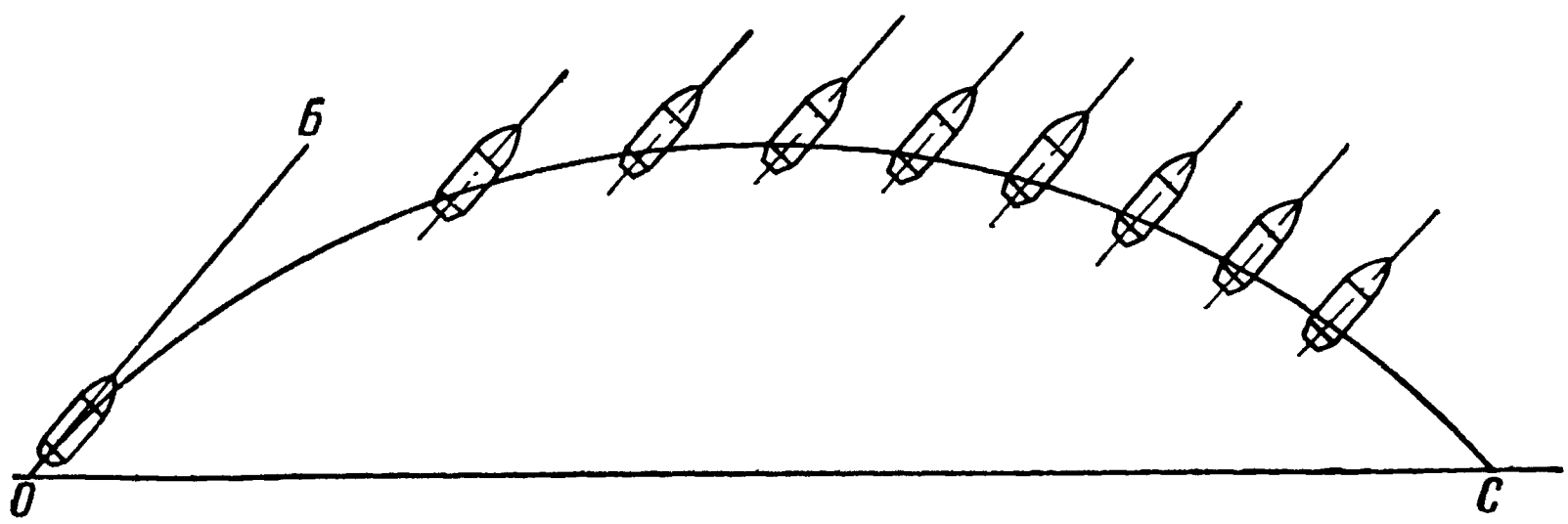


Рис. 34. Полет снаряда, обладающего полной гироскопической устойчивостью

в) при очень большой скорости вращательного движения снаряда вокруг своей оси, что ликвидировало бы действие опрокидывающей пары. Но в действительности ни одно из этих условий при стрельбе не имеет места. Следовательно, в реальных условиях снаряд не обладает полной гироскопической устойчивостью.

Однако полная гироскопическая устойчивость, если бы даже и была возможна, является невыгодной, так как в этом случае угол δ быстро увеличивался бы, а следовательно, быстро возрастала бы и сила сопротивления воздуха, т. е. значительно уменьшилась бы дальность полета снаряда. Кроме того, снаряд попадал бы в цель боковой или донной частью, между тем для эффективного действия снаряда требуется, чтобы он попадал в цель головной частью и чтобы дальность его полета была наибольшей.

Полет снаряда, ось которого на протяжении всей траектории совпадала бы с касательной, называется **абсолютно правильным** полетом, а такой снаряд — **послушным** (рис. 35). Но абсолютно правильным полет может быть только в случае прямолинейности траектории и при отсутствии толчков и ударов оружия и газов, придающих оси снаряда угол δ в самом начале полета. Следовательно, в действительности снаряд не обладает абсолютной правильностью полета.

Так как избежать появления угла δ невозможно, стремятся к тому, чтобы величина этого угла была на всем протяжении

траектории возможно меньшей. Для обеспечения правильности полета каждому снаряду придается определенная скорость вращательного движения, т. е. создается определенная крутизна нарезки

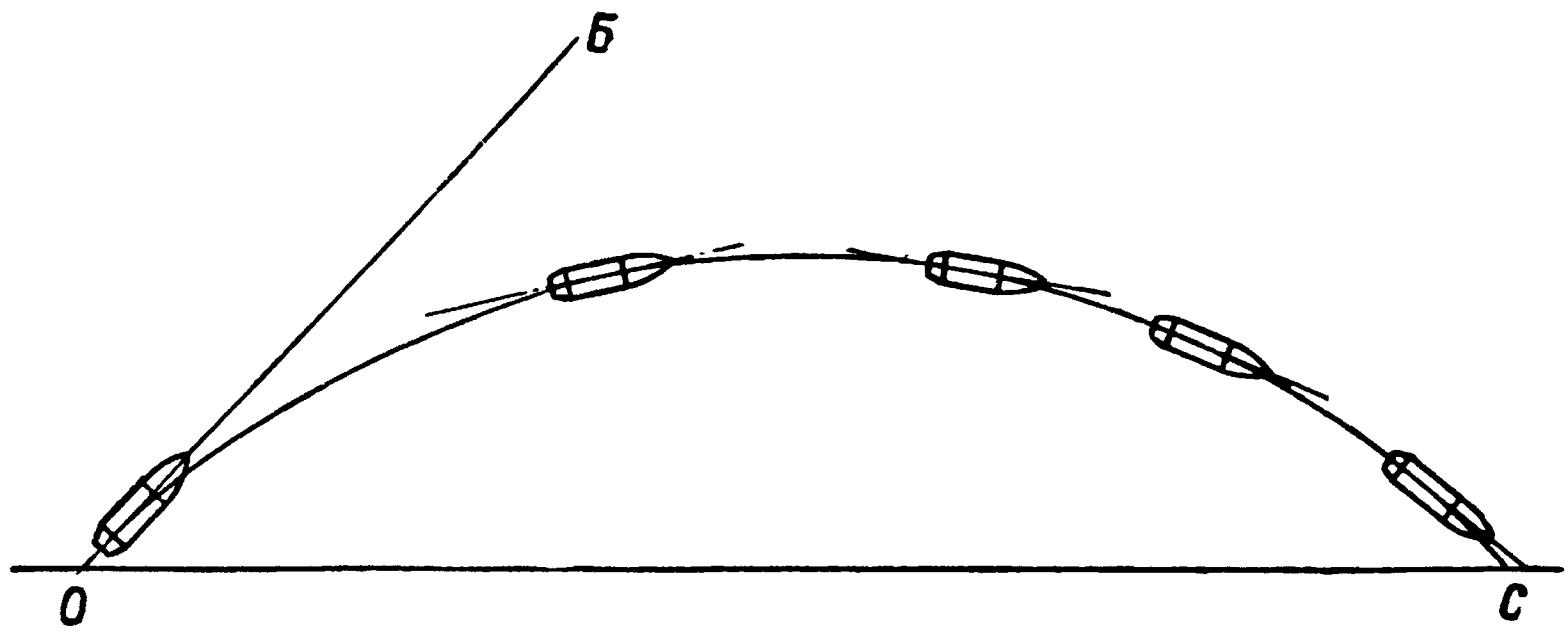


Рис. 35. Абсолютно правильный полет снаряда

и рассчитывается расстояние между центром тяжести и центром сопротивления.

Скорость вращения снаряда вокруг своей оси определяется по формуле:

$$n = \frac{v_0}{l}, \qquad (29)$$

где n — число оборотов в секунду;

l — длина хода нарезов в метрах.

Пример. Определить скорость вращения пули обр. 1943 г. вокруг своей оси при стрельбе из карабина; $v_0 = 735$ *м/сек*; $l = 0{,}24$ *м*.

$$n = \frac{v_0}{l} = \frac{735}{0{,}24} \approx 3062 \text{ об/сек}.$$

Расстояние между центром тяжести и центром сопротивления для современных пуль составляет около 1,5 калибра. Центр тяжести современных пуль находится примерно на расстоянии одной трети ее длины от донного среза, а центр сопротивления — примерно на таком же расстоянии от головного среза.

Мы установили, что вращение оси снаряда в каждый данный момент времени будет происходить вокруг динамической оси, которая отклонена от касательной вправо и вверх (при правой нарезке).

Если смотреть на снаряд сзади (рис. 36), то путь, описываемый концом оси снаряда, можно приближенно изобразить в виде окружности, динамическую ось — в виде центра этой окружности T_1, а касательную — в виде точки T, расположенной ниже и левее центра окружности.

Если через касательную провести вер-

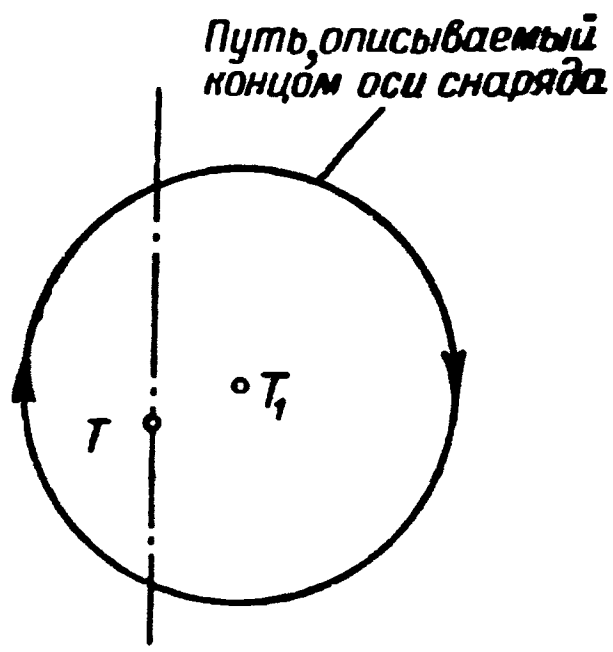


Рис. 36. Медленное коническое движение на криволинейном участке траектории. Вид сзади

тикальную плоскость, то видно, что головная часть снаряда по отношению к этой плоскости больше находится с правой стороны, чем с левой. Следовательно, образуется составляющая сила сопротивления воздуха, выводящая центр тяжести снаряда из плоскости стрельбы вправо. Таким образом, снаряд отклоняется вправо от плоскости стрельбы на всем протяжении криволинейного участка траектории.

Явление отклонения снаряда от плоскости стрельбы в сторону его вращения называется **деривацией.**

Таким образом, для появления деривации при полете снаряда необходимо сочетание трех условий: вращения снаряда вокруг своей оси, сопротивления воздуха и криволинейности траектории. При отсутствии хотя бы одного из этих условий деривация не имеет места. При отсутствии вращательного движения снаряда вокруг своей оси снаряд не будет являться гироскопом, а следовательно, не будет и условий, приводящих к деривации; невращающаяся мина деривации не имеет. При отсутствии сопротивления воздуха не будет опрокидывающей пары, а следовательно, не будет и медленного конического движения; в безвоздушном пространстве деривация отсутствует. При прямолинейной траектории ось снаряда вращается вокруг траектории, нет понижения касательной, следовательно, нет и деривации; при стрельбе строго вертикально вниз или вверх деривация отсутствует.

Для каждого вида снарядов величина деривации определяется специальным отстрелом и при помощи эмпирических формул. Одна из наиболее простых формул:

$$z = kT^2,$$

где z — величина деривации в метрах;
k — коэффициент, постоянный для данной системы оружия;
T — полное время полета пули.

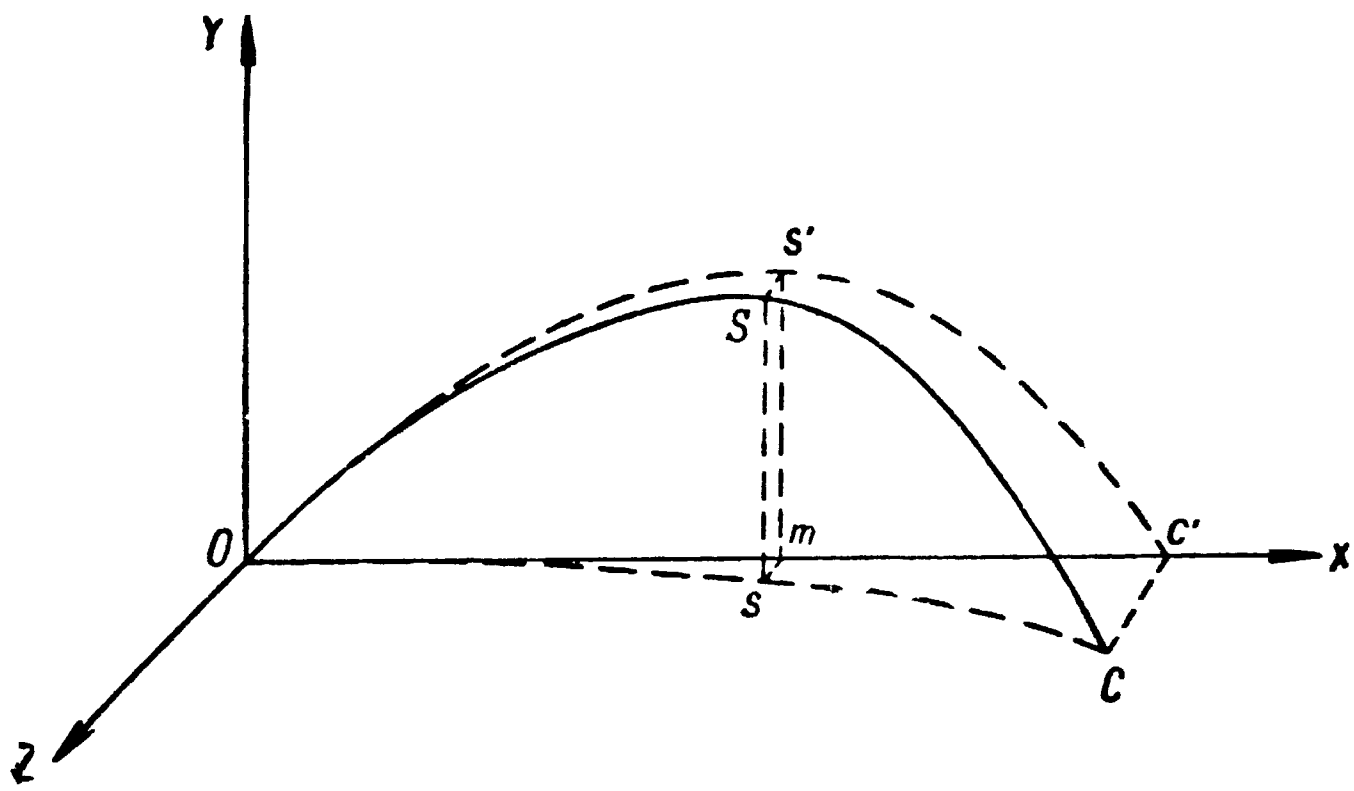


Рис. 37. Траектория вращающегося снаряда в воздухе и ее проекции на горизонтальную и вертикальную плоскости

Следовательно, величина деривации пропорциональна квадрату времени. Поэтому траектория вращающегося снаряда *OSC* — линия двоякой кривизны (рис. 37). Можно рассматривать две проекции траектории: вертикальную *Os'c'*, называемую плоской траекторией, и горизонтальную *OsC*, по которой можно отсчитывать величину деривации в любой точке.

Величина деривации на дальностях стрельбы, применяемых для стрелкового оружия, незначительна, поэтому часто ею пренебрегают. При необходимости учесть величину деривации ее берут из таблиц стрельбы и вводят как поправку.

Полет мины в воздухе

Так как скорость движения мины меньше скорости звука (максимальная скорость 82-*мм* мины равна 211 *м/сек*), при полете мины отсутствует основной фактор сопротивления воздуха — бал-

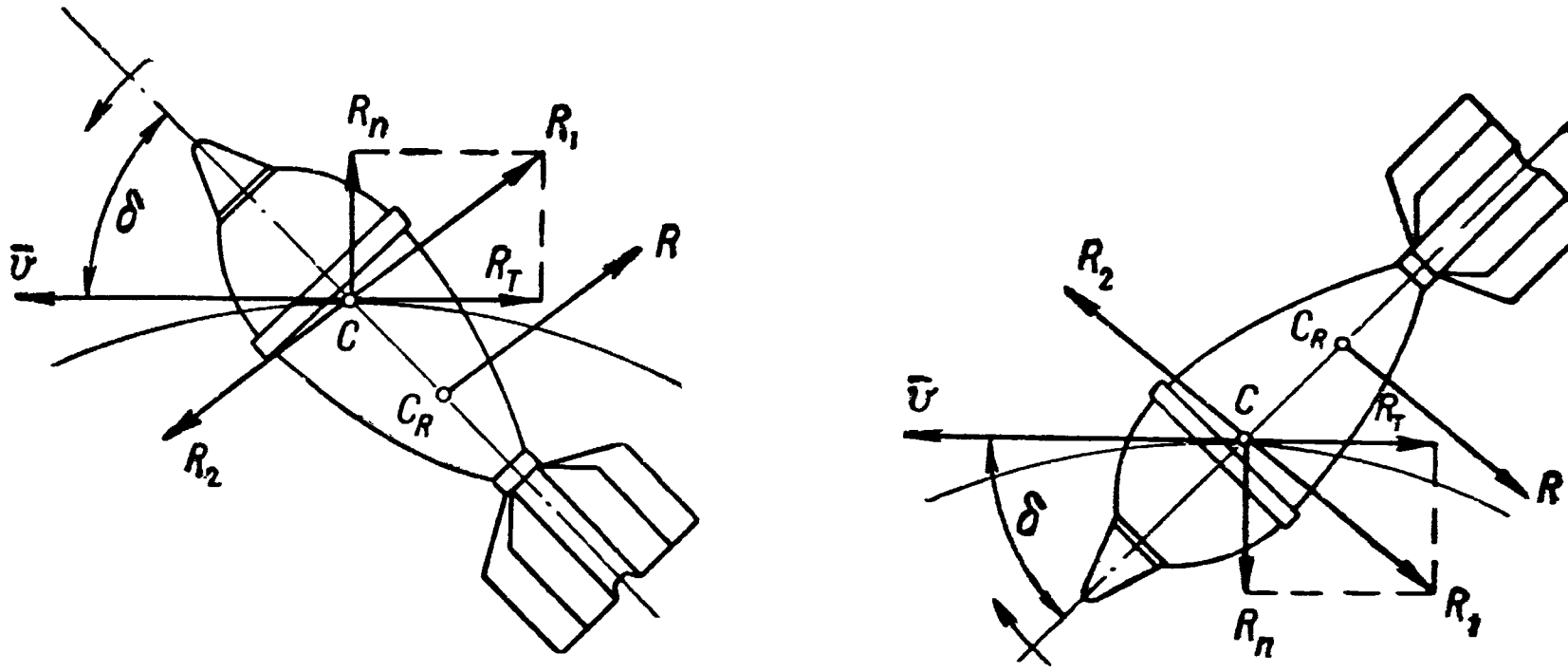


Рис. 38. Действие силы сопротивления воздуха на мину

листическая волна. Это дает возможность сделать головную часть мины почти сферических очертаний, а отсутствие гильзы позволяет придать донной части мины наиболее выгодную форму, позволяющую значительно уменьшить вихреобразование.

При такой форме мины центр тяжести ее расположен ближе к головной части. Придание устойчивости мине на полете вместо вращательного движения достигается наличием хвостового оперения, имеющего сравнительно большую поверхность, вследствие чего центр сопротивления мины расположен ближе к донной части. Хвостовое оперение называется **стабилизатором,** так как предназначено для придания мине устойчивости.

Рассмотрим действие силы сопротивления на мину.

При вылете мины из канала ствола, так же как и при вылете любого снаряда, вследствие толчков и ударов газов и оружия образуется угол δ между осью мины и касательной к траектории. Вследствие образования угла δ головная часть мины может находиться или выше или ниже касательной (рис. 38).

Пара сил RR_2 образует **стабилизирующий момент,** который стремится уменьшить угол δ, т. е. приблизить ось мины к касательной к траектории. Таким образом, если головная часть мины выше касательной, она поворачивается вниз, а если ниже,— вверх. Значит, до тех пор пока мина не стабилизируется, т. е. не займет какого-то определенного положения относительно касательной, ось ее совершает затухающие колебания.

Сила $R_т$ уменьшает скорость поступательного движения мины.

Сила $R_п$ смещает центр тяжести мины в ту сторону, куда отклонена ее головная часть, т. е. до момента стабилизации вследствие действия силы $R_п$ происходят колебания и другого вида — колебания мины в плоскости бросания относительно касательной.

Таким образом, полет мины отличается от полета продолговатого вращающегося снаряда тем, что отсутствие вращательного движения не приводит к деривации, а следовательно, траектория мины остается плоской. Кроме того, вследствие небольшой скорости полета, а следовательно, и значительно меньшего воздействия сопротивления воздуха траектория мины в воздухе близка по своей форме к траектории в безвоздушном пространстве, в то время как траектория в воздухе и траектория в безвоздушном пространстве для продолговатого вращающегося снаряда резко отличаются по форме, что видно из табл. 5.

Таблица 5

Снаряд	Начальная скорость v_0, *м/сек*	Угол бросания θ_0	Полная горизонтальная дальность X, *м*		Высота траектории Y, *м*	
			в безвоздушном пространстве	в воздухе	в безвоздушном пространстве	в воздухе
82-*мм* мина	132	45°	1780	1505	445	393
7,62-*мм* пуля обр. 1930 г.	800	15°9′	33000	4000	4125	438

Полет реактивного снаряда

В момент схода с направляющей реактивный снаряд приобретает скорость схода v_0, затем, продолжая движение под действием реактивной силы, достигает к концу горения порохового заряда максимальной скорости v_{max}. Траекторию реактивного снаряда можно разделить на два участка (рис. 39): активный и пассивный; активный участок траектории — полет снаряда под действием реактивной силы от момента начала движения снаряда до приобретения им скорости v_{max}; пассивный — полет снаряда по инерции. Считая движение снаряда на активном участке равноускоренным, длину его можно определить из следующей зависимости:

$$S_{акт} = \frac{0 + v_{max}}{2} t_к = \frac{v_{max}}{2} t_к, \qquad (30)$$

где $S_{акт}$ — длина активного участка траектории;
v_{max} — максимальная скорость реактивного снаряда в момент окончания горения порохового заряда;
$t_к$ — полное время сгорания порохового заряда.

Обычно считают активный участок прямолинейным, так как время полета снаряда на активном участке незначительно.

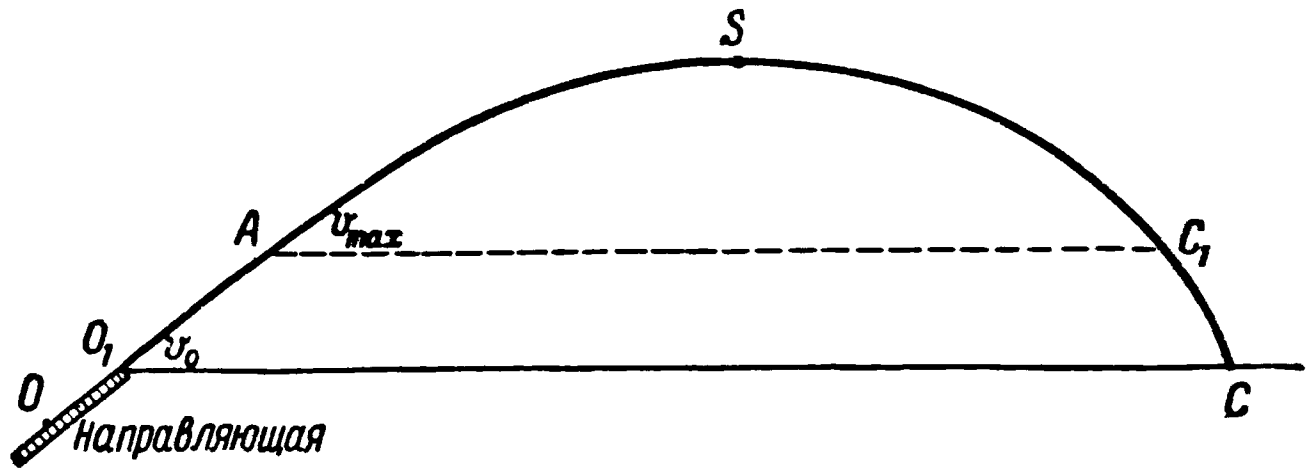


Рис. 39. Траектория реактивного снаряда:
OA — активный участок траектории (в него включена длина направляющей OO_1); *AC* — пассивный участок траектории (участок CC_1 обычно принимается за прямолинейный)

На пассивном участке траектории невращающийся реактивный снаряд летит в условиях, аналогичных полету мины. Расчет пассивного участка траектории ведется так же, как и для обычного снаряда. За начальную скорость на этом участке принимается скорость v_{max}.

Свойства траектории в воздухе

На основании сказанного выше о характере движения снаряда в воздухе выясним основные свойства траектории в воздухе.

Рассмотрим, чему равно изменение кинетической энергии снаряда на пути от точки M_1 до точки M_2, имеющих одинаковую ординату (рис. 40). Скорость снаряда в точке M_1 обозначим v_1,

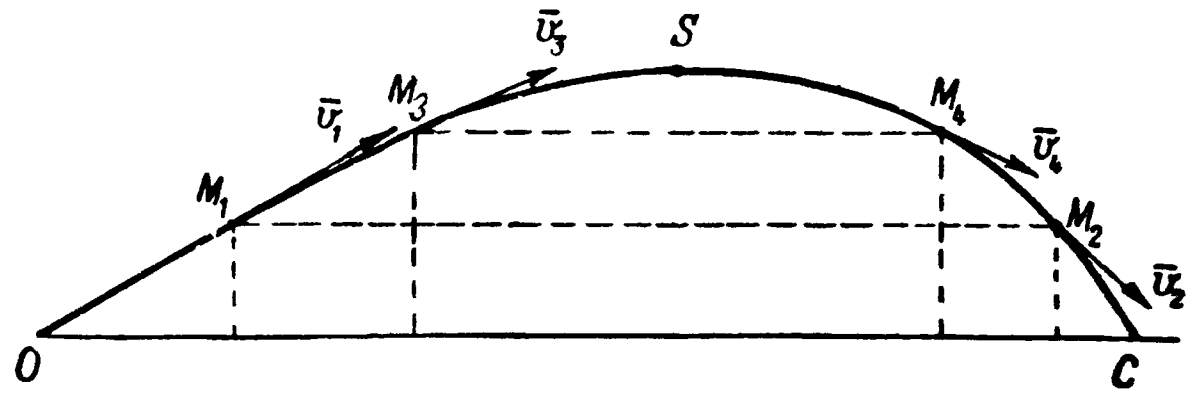


Рис. 40. Свойства траектории в воздухе

скорость в точке M_2 обозначим v_2. Разность кинетической энергии должна быть равна работе, произведенной силами, действующими на снаряд. Работа силы тяжести на участке M_1M_2 равна нулю, так как точки M_1 и M_2 расположены на одинаковой высоте. Работа силы сопротивления воздуха равна произведению величины силы сопротивления воздуха на путь снаряда, измеряемый дугой M_1SM_2. Так как сила сопротивления воздуха — величина переменная, при-

мем для вычисления работы ее среднее значение $R_{ср}$, а путь M_1SM_2 обозначим s.

Тогда:

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = -R_{ср}s$$

(знак минус, так как сила сопротивления действует в сторону, обратную направлению скорости снаряда).

Отсюда:

$$v_2^2 - v_1^2 = -\frac{2R_{ср}s}{m},$$

следовательно,

$$v_2 < v_1,$$

т. е. для точек на траектории, имеющих равные ординаты, скорость снаряда больше в точке на восходящей ветви, чем на нисходящей.

Если мы возьмем точки, для которых $y = 0$, т. е. точку вылета 0 и точку падения (табличную) C, то очевидно, что **начальная скорость больше окончательной:**

$$v_0 > v_c.$$

Рассмотрим участки M_1M_3 на восходящей ветви и M_4M_2 на нисходящей. Точки M_3 и M_4 также имеют одинаковую ординату, следовательно, $v_3 > v_4$ (см. рис. 40). Значит, в каждой точке участка M_1M_3 скорость больше, чем в соответствующих точках участка M_4M_2, а из этого следует, что время движения на участке M_4M_2 больше времени движения на участке M_1M_3 и понижение снаряда под линией бросания будет больше, чем на участке M_1M_3, т. е. участок траектории M_4M_2 короче и круче участка M_1M_3. Такое рассуждение справедливо для любого из двух участков восходящей и нисходящей ветвей, ограниченных точками, имеющими равные ординаты. Следовательно, нисходящая ветвь траектории короче и круче восходящей, а это значит, что траектория в воздухе — кривая несимметричная, вершина траектории расположена ближе к точке падения, угол падения (табличный) по своей абсолютной величине больше угла бросания:

$$x_s > \frac{X}{2};\ |\theta_c| > \theta_0.$$

Так как скорость снаряда на восходящей ветви траектории значительно больше, чем на нисходящей, то и время полета снаряда от точки вылета до вершины меньше, чем время полета снаряда от вершины до точки падения (табличной), несмотря на то, что восходящая ветвь длиннее нисходящей:

$$t_s < \frac{T}{2}.$$

В безвоздушном пространстве наименьшую скорость снаряд имеет в вершине траектории. При полете снаряда в воздухе скорость его на восходящей ветви под действием силы тяжести и силы

сопротивления воздуха уменьшается. На нисходящей ветви сила тяжести начинает способствовать увеличению скорости снаряда, сила же сопротивления уменьшает ее; уменьшение скорости происходит до тех пор, пока ускорение силы сопротивления, направленное в сторону, противоположную движению снаряда, не станет равным по абсолютной величине проекции ускорения силы тяжести на касательную к траектории (рис. 41). Затем скорость снаряда

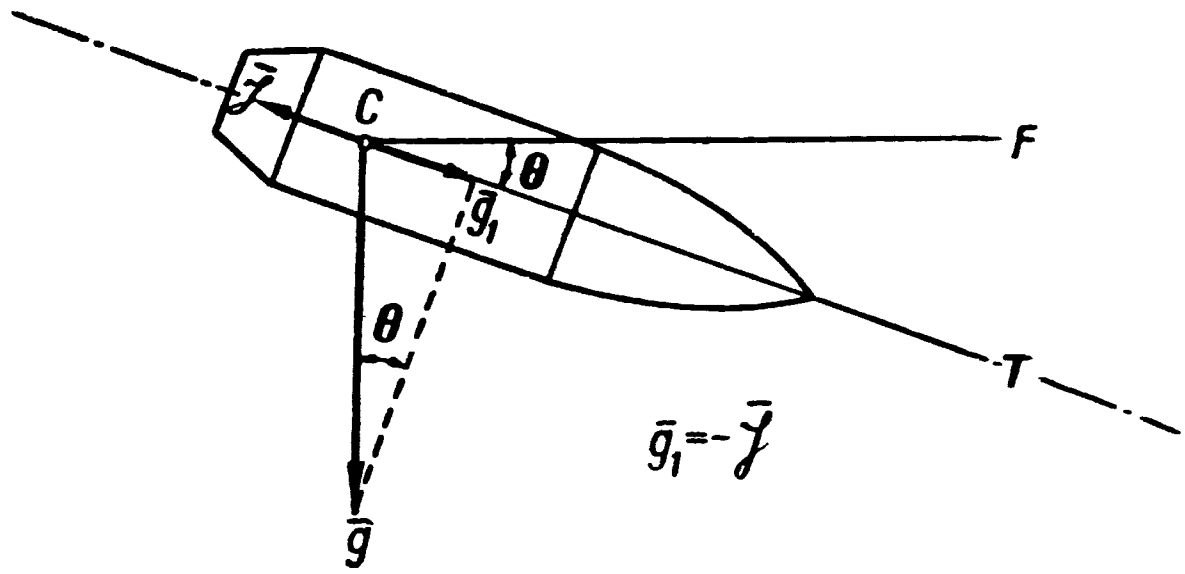


Рис. 41. Момент, когда снаряд имеет скорость v_{min}:
CF — горизонтальная прямая; *CT* — касательная к траектории; θ — угол наклона касательной; $\bar{g}_1 = g \sin\theta = -\bar{j}$

начинает увеличиваться. Следовательно, наименьшую скорость при полете в воздухе снаряд имеет не в вершине траектории, а где-то за вершиной (рис. 42). Чем больше угол бросания, тем ближе

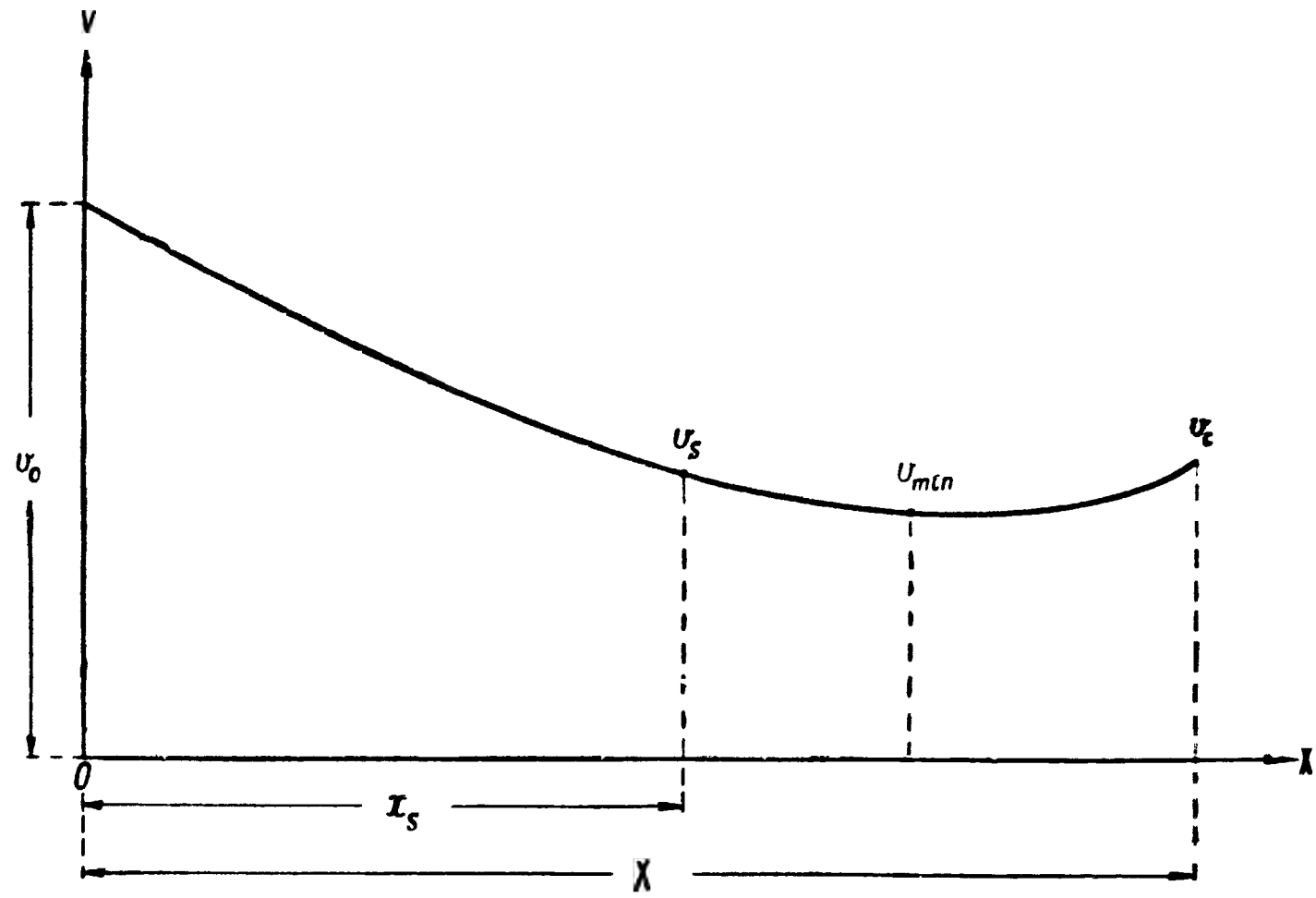


Рис. 42. Изменение скорости снаряда в воздухе

к вершине наименьшая скорость снаряда. Для небольших углов бросания (при стрельбе из стрелкового оружия по наземным целям) скорость снаряда обычно убывает на всей траектории от точки вылета до точки падения.

В безвоздушном пространстве угол бросания $\theta_0 = 45°$ соответствует наибольшей полной горизонтальной дальности полета снаряда. В воздухе величина этого угла неодинакова для различных снарядов; она зависит от начальной скорости, веса и формы снаряда. Для миномета этот угол близок к 45°, для стрелкового оружия — к 35°.

Угол возвышения, при котором получается наибольшая горизонтальная дальность полета снаряда, называется **углом наибольшей дальности** (в данном случае мы пренебрегаем величиной угла вылета, считая $\theta_0 = \varphi$).

Траектории, полученные при углах возвышения, меньших угла наибольшей дальности, называются **настильными**, при углах, больших угла наибольшей дальности,— **навесными** (рис. 43).

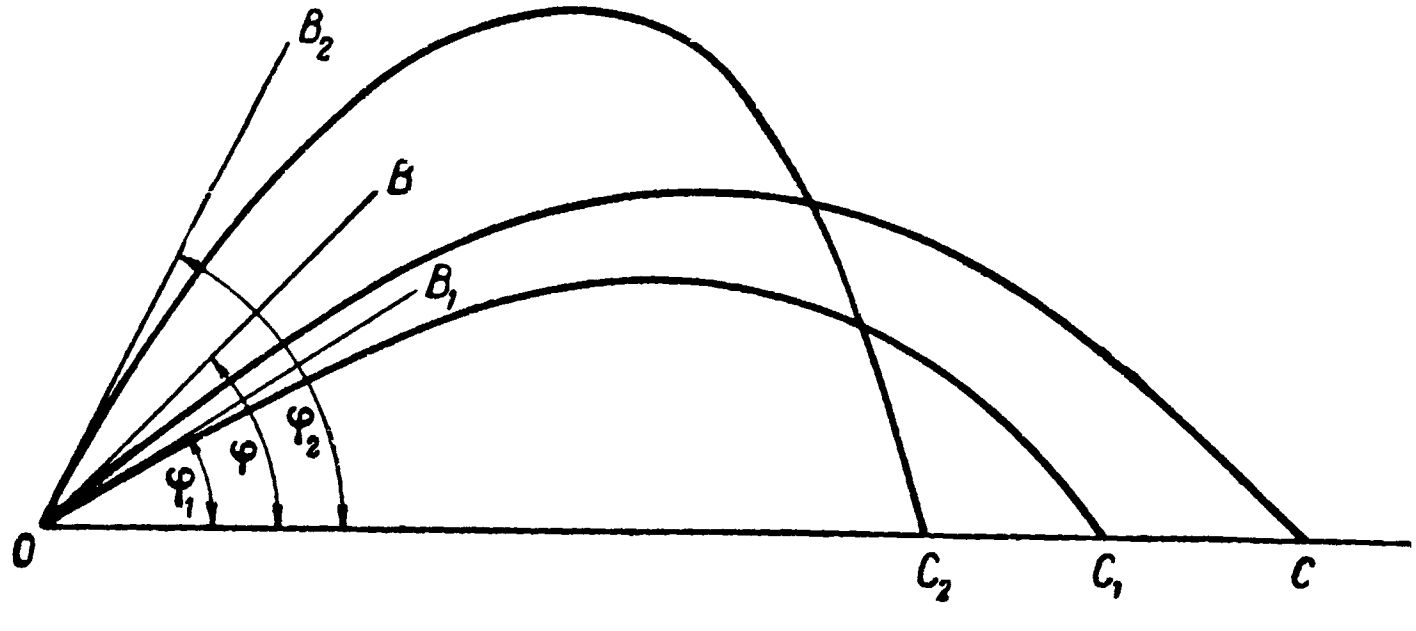


Рис. 43. OC_1 — настильная траектория; OC_2 — навесная траектория; OC — траектория, полученная при угле наибольшей дальности

Следовательно, каждая точка на горизонте в пределах наибольшей горизонтальной дальности может быть поражена при стрельбе под двумя углами возвышения, из которых один соответствует настильной, а другой — навесной траектории.

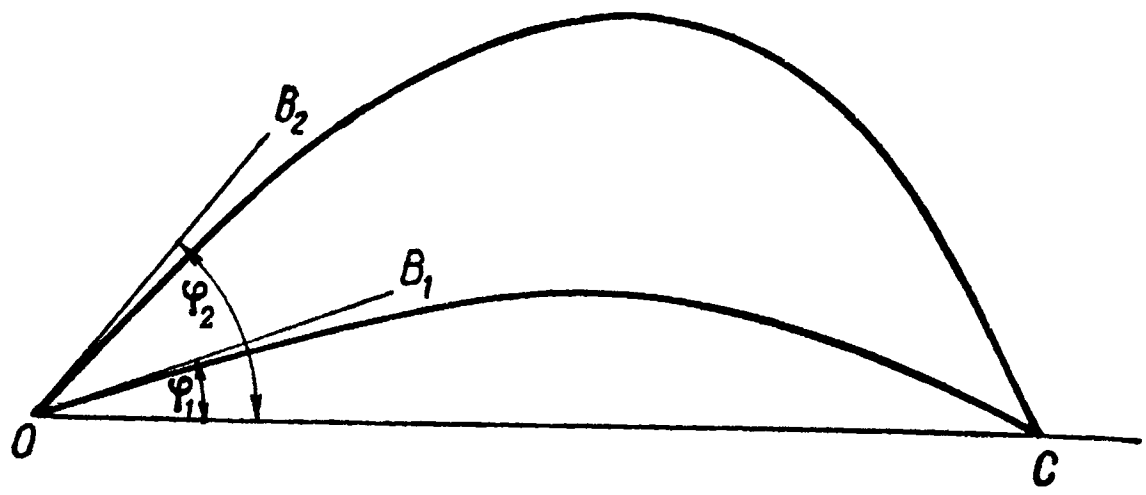


Рис. 44. Сопряженные траектории

Настильная и навесная траектории, полученные при стрельбе из одного и того же оружия при одной и той же начальной скорости и имеющие одинаковую полную горизонтальную дальность, называются **сопряженными** (рис. 44). При стрельбе из миномета путем изменения величины заряда можно получить ряд навесных

траекторий, отвечающих одинаковой полной горизонтальной дальности. Строго говоря, эти траектории не являются сопряженными, но такое название за ними в практике закрепилось.

На основании изложенного свойства траектории в воздухе можно сформулировать следующим образом:

1. Траектория есть кривая несимметричная, нисходящая ветвь которой короче и круче восходящей; вершина траектории расположена ближе к точке падения (табличной).

2. Время полета снаряда от точки вылета до вершины траектории меньше, чем время полета снаряда от вершины до точки падения (табличной).

3. Скорость снаряда в точках, имеющих одинаковую ординату, на восходящей ветви больше, чем на нисходящей ветви; начальная скорость больше окончательной; наименьшую скорость снаряд имеет в точке, расположенной за вершиной траектории.

4. Угол падения (табличный) по своей абсолютной величине больше угла бросания.

5. Угол наибольшей дальности неодинаков для различных снарядов; величина его зависит от начальной скорости, веса и формы снаряда.

6. Траектория вращающегося снаряда вследствие деривации представляет собой кривую двоякой кривизны.

3. ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОЛЕТ СНАРЯДА

Плотность воздуха

Как нам уже известно из формулы (24), с изменением плотности воздуха изменяется величина силы сопротивления воздуха, действующей на снаряд, а следовательно, изменяется дальность полета снаряда. Чем меньше плотность воздуха, тем больше дальность полета снаряда, чем больше плотность воздуха, тем дальность полета снаряда меньше.

Плотность воздуха зависит от трех факторов: от температуры, атмосферного давления и влажности.

Температура воздуха есть степень его нагретости. Воздух нагревается от земли, которая в свою очередь нагревается солнечными лучами, проникающими сквозь атмосферу; непосредственное нагревание воздуха солнечными лучами весьма незначительно.

С повышением температуры воздух расширяется. Следовательно, в одном и том же объеме при увеличении температуры количество воздуха уменьшается. Отсюда, чем больше температура, тем меньше плотность воздуха, и, наоборот, чем меньше температура, тем плотность воздуха больше.

Атмосферное давление есть вес атмосферы, приходящейся на единицу поверхности.

Чем больше атмосферное давление, тем большее количество воздуха будет находиться в одном и том же объеме, а следова-

тельно, увеличится плотность воздуха; чем меньше атмосферное давление, тем плотность воздуха меньше.

Влажность воздуха характеризуется содержанием в нем водяных паров. За меру измерения влажности воздуха принимают величину, называемую абсолютной влажностью. Абсолютной влажностью называется давление водяных паров, находящихся в воздухе (точнее — упругость водяных паров, а не давление, но так как эти величины количественно равны, мы пользуемся более понятным обозначением). Влажный воздух представляет собой смесь сухого воздуха и водяных паров. Если, например, атмосферное давление воздуха 740 *мм* рт. ст., а на сухой воздух приходится 734 *мм*, то разность 6 *мм* (740—734) и есть абсолютная влажность воздуха. Но количество водяных паров в воздухе не может увеличиваться бесконечно, так как при определенной концентрации водяных паров они начинают превращаться в капли воды. Такое количество водяных паров называется насыщающим, а абсолютная влажность, соответствующая пределу насыщения, называется максимальной. Величина максимальной абсолютной влажности неодинакова для различных температур. При влажном воздухе часть его объема вместо сухого воздуха занимают пары воды. Между тем плотность водяных паров меньше плотности воздуха: если плотность воздуха принять за 1, то плотность водяных паров 0,62. Поэтому с увеличением влажности воздуха плотность его уменьшается и, наоборот, с уменьшением влажности воздуха плотность его увеличивается [1].

В стрелково-артиллерийских расчетах обычно применяется не абсолютная, а относительная влажность. Относительной влажностью называется отношение количества водяных паров, содержащихся в воздухе, к наибольшему количеству водяных паров, которое может содержаться в воздухе при данной температуре. Например, если в данный момент при температуре +15° абсолютная влажность 6,4 *мм*, а максимальная абсолютная влажность для этой температуры 12,8 *мм* (берется из таблицы), то относительная влажность равна:

$$\frac{6{,}4}{12{,}8} = 0{,}5, \text{ или } 50\%.$$

Но это не значит, что 50% всего воздуха составляют водяные пары. Это значит, что в воздухе находится 50% водяных паров по отношению к количеству водяных паров, насыщающих воздух.

За нормальные метеорологические условия в стрелковой практике принимаются: температура $t_{0N} = 15°$ С, атмосферное давление $h_{0N} = 750$ *мм* рт. ст., относительная влажность $\frac{e_1}{e} = 50\%$. При этих условиях нормальная плотность воздуха составляет 1,206 *кг/м*^{3}.

---

[1] Влажность воздуха зависит от количества водяных паров, содержащихся в воздухе, а не от количества воды. Поэтому туман, дождь и т. д. к рассматриваемому вопросу отношения не имеют.

Изменение влажности воздуха практически не оказывает влияния на изменение дальности полета снаряда, поэтому при стрельбе не учитывается.

Влияние изменения атмосферного давления на дальность полета снаряда в обычных условиях стрельбы также незначительно, поэтому учитывается только при стрельбе в горах.

Основным фактором, влияющим на величину плотности воздуха и, следовательно, на дальность полета снаряда, является изменение температуры воздуха. Поправки дальности в зависимости от изменения температуры воздуха и атмосферного давления берутся из таблиц стрельбы.

Ветер

Влияние ветра на полет снаряда зависит от его скорости и направления. Скорость и направление ветра весьма изменчивы, но для определения влияния ветра на полет снаряда приходится допускать, что ветер на протяжении всей траектории сохраняет одинаковую скорость и направление.

Скорость ветра определяется как путь, проходимый воздухом в единицу времени, и выражается в метрах в секунду (*м/сек*).

В стрелковой практике различают: слабый ветер — 2—3 *м/сек*. умеренный — 4—6 *м/сек*, сильный — 8—12 *м/сек*.

Направление ветра определяется углом, под которым перемещается воздух по отношению к плоскости стрельбы. По направлению различают ветер: **продольный,** дующий вдоль плоскости стрельбы (продольный ветер может быть встречным, если ветер дует на стрелка, и попутным, если ветер дует от стрелка), **боковой,** дующий под углом 90° к плоскости стрельбы (боковой слева и боковой справа), и **облический** (косой), дующий под острым углом к плоскости стрельбы (например, встречный слева под углом 30°, встречный справа под углом 60°, попутный слева под углом 45°, попутный справа под углом 15°).

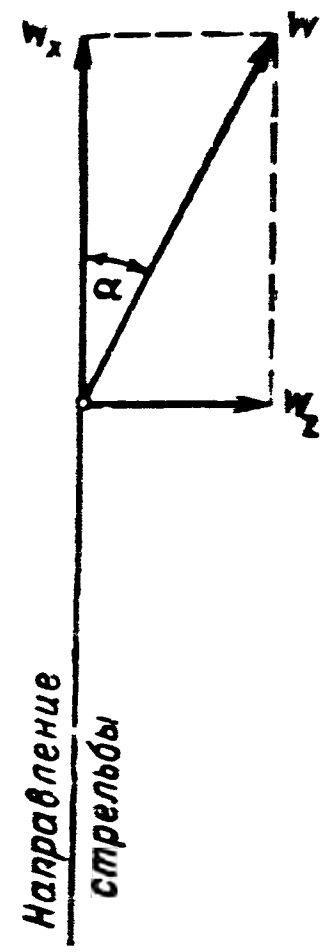


Рис. 45. Разложение скорости ветра

Продольный ветер изменяет дальность полета снаряда, боковой — его направление, а облический — и дальность и направление.

Действие ветра на снаряд заключается в следующем. При продольном попутном ветре направление полета снаряда и направление ветра совпадают; при этом скорость снаряда относительно воздуха уменьшается, следовательно, уменьшается и сила сопротивления воздуха, снаряд теряет свою скорость медленнее, дальность полета его увеличивается. При встречном продольном ветре происходит обратное явление, дальность полета снаряда уменьшается. Боковой ветер давит на боковую поверхность снаряда и отклоняет его в сторону от плоскости стрельбы.

Для определения действия облического ветра его

скорость необходимо разложить на продольную и боковую составляющие (рис. 45). Если обозначить скорость ветра W, продольную составляющую W_x, боковую составляющую W_z, угол между направлением ветра и плоскостью стрельбы α, то

$$\left.\begin{aligned} W_x &= W\cos\alpha \\ W_z &= W\sin\alpha \end{aligned}\right\} \qquad (31)$$

Пример. Встречный ветер справа под углом $\alpha = 35°$ дует со скоростью 10 *м/сек*. Определить продольную и боковую составляющие ветра.

Решение.

$$W = 10 \text{ м/сек}; \quad \alpha = 35°.$$

$$W_x = W\cos\alpha = 10 \cdot 0{,}819 = 8{,}19 \approx 8 \text{ м/сек};$$

$$W_z = W\sin\alpha = 10 \cdot 0{,}574 = 5{,}74 \approx 6 \text{ м/сек}.$$

По полученным скоростям продольного и бокового ветра, пользуясь таблицами стрельбы, определяют поправки дальности и направления стрельбы.

При стрельбе из стрелкового оружия влияние продольного ветра на дальность стрельбы незначительно и поэтому в практике не учитывается. Боковой же ветер оказывает значительное влияние на изменение первоначального направления полета пули и учитывается при стрельбе на все дальности.

При одновременном учете влияния на полет снаряда факторов, изменяющих дальность и направление стрельбы, сначала определяется и учитывается суммарная поправка по дальности стрельбы, затем на основе исчисленной дальности определяется поправка по направлению, так как она зависит в основном от времени нахождения снаряда в воздухе (дальности стрельбы).

ГЛАВА V

ПРИЦЕЛИВАНИЕ И ПРИЦЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

При рассмотрении схемы прицеливания возникает необходимость производить некоторые расчеты, связанные с угловыми величинами. Ознакомимся с принятыми в военном деле единицами измерения углов.

1. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ

Единицы измерения углов

В стрелково-артиллерийской практике в качестве единицы измерения углов используют деление угломера, тысячную и «натуральную тысячную».

Деление угломера. Если окружность радиуса R разделить на 6000 равных частей и точки деления соединить с центром окружности (рис. 46), то получится 6000 одинаковых центральных углов.

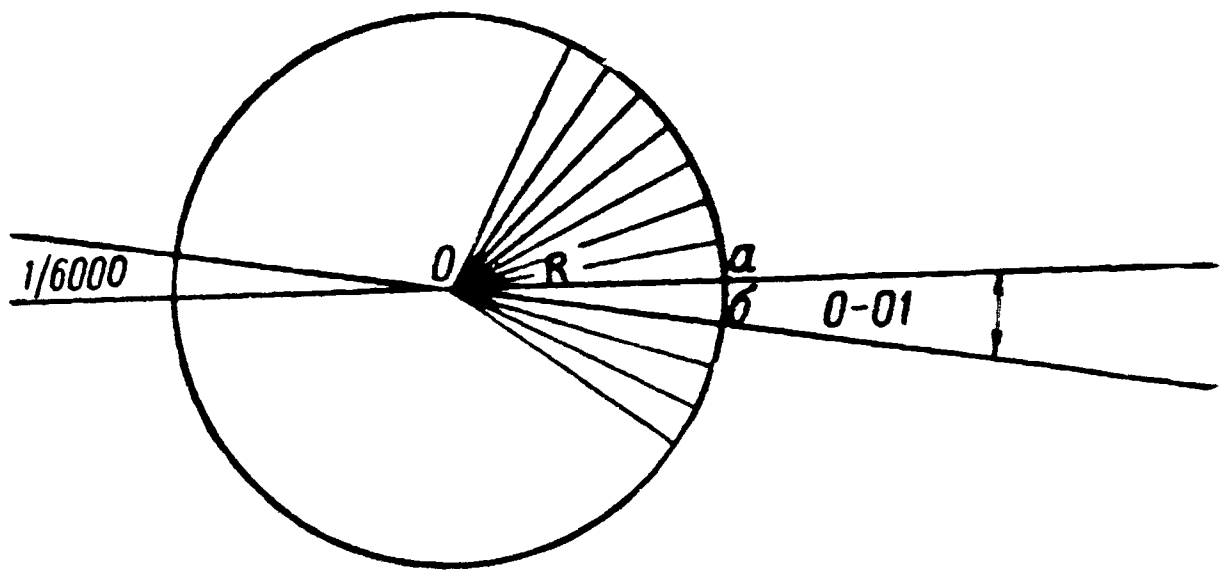


Рис. 46. Угол $aOб$, равный одному делению угломера: дуга $аб = l = \frac{R}{955}$ (для наглядности деление угломера на рисунке увеличено)

Центральный угол, длина дуги которого равна $\frac{1}{6000}$ части длины окружности, назван делением угломера.

Выразим длину дуги окружности l, равную одному делению угломера, в долях радиуса R:

$$l = \frac{2\pi R}{6000}.$$

Подставив вместо π его значение 3,14, получим:

$$l = \frac{R}{955}, \text{ или } l \approx 0{,}00105R.$$

Таким образом, одно деление угломера равно 0,00105 радиуса.

Тысячная. Если допустить, что $\pi = 3$ (а не 3,14), то в этом случае длина дуги, составляющая 1/6000 окружности, будет равна:

$$l = \frac{2\pi R}{6000} = \frac{2 \cdot 3 \cdot R}{6000} = \frac{R}{1000} = 0{,}001R.$$

Полученная единица измерения углов, несколько меньшая деления угломера, названа тысячной.

Тысячной называется центральный угол, опирающийся на дугу, длина которой равна 0,001 радиуса. Тысячная более удобна для расчетов, чем деление угломера.

«Натуральная тысячная». Деление угломера и тысячная являются основными единицами измерения углов. Но иногда величину угла (например, угла падения) выражают в «натуральных тысячных». В отличие от деления угломера и тысячной, «натуральная тысячная» есть произведение натурального значения тригонометрической функции тангенса угла на 1000 ($\operatorname{tg}\alpha \cdot 1000$).

Тысячная и деление угломера, как меры углов, отличаются между собой по величине приблизительно на 5%. Например, угол, равный 100 тысячным, отвечает углу в 95 делений угломера; длина окружности составляет 6000 делений угломера, или около 6280 тысячных. Но на практике обыкновенно принимают, что деление угломера равно тысячной, и называют ту и другую меру тысячной или делением угломера.

«Натуральную тысячную» можно приравнивать к делению угломера только при малых углах.

Правила записи и чтения тысячных приведены в следующей таблице.

Таблица 6

Угол в тысячных	Записывается	Произносится
3491	34-91	Тридцать четыре девяносто один
3405	34-05	Тридцать четыре ноль пять
3000	30-00	Тридцать ноль
765	7-65	Семь шестьдесят пять
69	0-69	Ноль шестьдесят девять
9	0-09	Ноль ноль девять

Из определения деления угломера легко выводится зависимость между градусной системой измерения углов и тысячной.

Так, окружность содержит 360°, или 6000 делений угломера. Следовательно:

$$360° = 60\text{-}00$$
$$180° = 30\text{-}00$$
$$90° = 15\text{-}00$$
$$45° = 7\text{-}50$$
$$6° = 1\text{-}00 \text{ и т. д.}$$

Легко подсчитать, что 1° соответствует 16,7 деления угломера, или приблизительно 17 тысячным; одно деление угломера (0-01) соответствует 3′,6.

Таким образом, при необходимости легко перейти от измерения углов в градусах к измерению в тысячных и обратно.

В стрелковой практике при решении задачи прицеливания приходится иметь дело с малыми величинами углов, поэтому все указанные единицы измерения можно считать равными между собой и употреблять одно наименование для этих единиц — тысячная. Покажем это в таблице, приведенной ниже (табл. 7).

Таблица 7

Величина угла				Величина угла			
в градусах	в делениях угломера	в тысячных	в натуральных тысячных	в градусах	в делениях угломера	в тысячных	в натуральных тысячных
0°30′	0-08,3	0-08,7	0-08,7	45°	7-50,0	7-85,4	10-00
1°	0-16,7	0-17,5	0-17,5	60°	10-00,0	10-47,2	—
2°	0-33,3	0-34,9	0-34,9	90°	15-00,0	15-70,8	—
3°	0-50,0	0-52,4	0-52,4	120°	20-00,0	20-94,4	—
6°	1-00,0	1-04,7	1-05,1	150°	25-00,0	26-18,0	—
15°	2-50,0	2-61,8	2-67,9	270°	45-00,0	47-12,4	—
30°	5-00,0	5-23,6	5-77,4	300°	50-00,0	52-36,0	—
				360°	60-00,0	62-83,2	

Поскольку при стрельбе из стрелкового оружия углы падения получаются небольшие, в таблицах стрельбы они приведены в градусах и «натуральных тысячных» или только в «натуральных тысячных». При практических расчетах (например, при определении глубины поражаемого пространства) из таблиц берут значения углов падения в «натуральных тысячных» и производят дальнейшие вычисления, как с тысячными. При углах, бóльших 30°, эти меры углов становятся несопоставимы.

Практическое применение тысячной

Деление угломера используется для градуирования различных угломерных приборов: угломерного круга, буссольного круга, угломер-квадранта, некоторых прицелов, лимба компаса и др. Тысячная применяется как для измерения углов (например, биноклем),

так и для упрощения техники вычисления при переходе от угловых величин к линейным и обратно.

Установим зависимость между величиной угла в тысячных, длиной дуги и радиусом, которым описана данная окружность.

Обозначим расстояние между двумя равноудаленными предметами через B, угол между направлениями на них через $У$ и радиус, которым описана дуга (или, что одно и то же, дальность до предметов), через $Д$ (рис. 47).

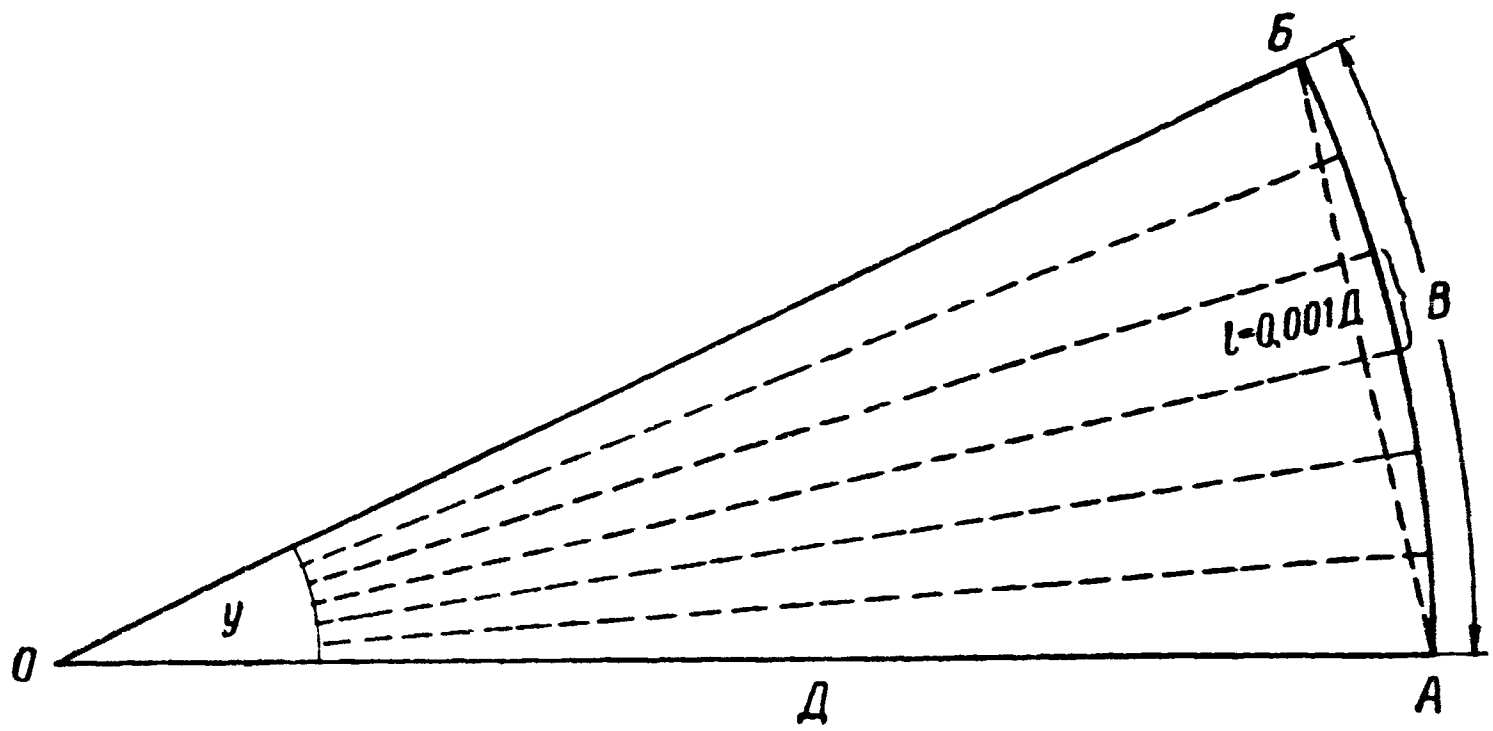


Рис. 47. Измерение отрезка $АБ$:

$$B = lУ, \text{ или } B = \frac{Д \cdot У}{1000}$$

Длина дуги, равная одной тысячной, как известно, определяется по формуле $l = 0{,}001\ R$, или, для условий примера: $l = 0{,}001\ Д$. Но так как угол между равноудаленными предметами в $У$ раз больше тысячной, то и длина дуги B будет больше дуги l также в $У$ раз. Следовательно,

$$B = lУ, \text{ или } B = 0{,}001 Д \cdot У,$$

откуда

$$B = \frac{Д \cdot У}{1000}.^{1} \qquad (32)$$

Из этой формулы определим:

$$Д = \frac{B \cdot 1000}{У}; \qquad (33)$$

$$У = \frac{B \cdot 1000}{Д}. \qquad (34)$$

Полученные формулы широко применяются в стрелково-артиллерийской практике и носят название формул тысячной. Покажем применение этих формул на примерах.

Формула (32) позволяет определять линейную величину: расстояние между двумя равноудаленными предметами, высоту или ширину предмета и т. п.

[1] При малых углах допускается, что длина дуги B примерно равна соответствующей хорде $АБ$ (см. рис. 47).

Пример. Угол, под которым с наблюдательного пункта виден отрезок местности между двумя деревьями (рис. 48), равен 0-25. Расстояние от наблюдательного пункта до деревьев (дальность) равно 1 *км*. Определить длину отрезка *АБ* между деревьями.

Р е ш е н и е. Из условий примера известно: $Д = 1000$ *м*, $У = 0\text{-}25$. Неизвестный отрезок *АБ* найдем по формуле (32):

$$В = \frac{ДУ}{1000} = \frac{1000 \cdot 25}{1000} = 25 \text{ м}.$$

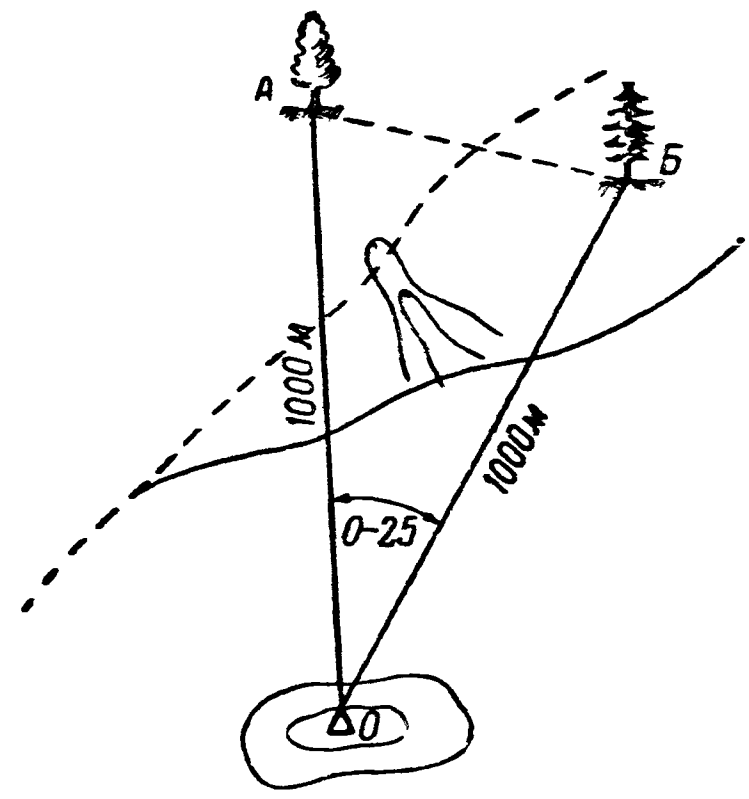


Рис. 48. Измерение отрезка *АБ* на местности:
$ОБ = ОА = 1000$ *м*

Формула (33) позволяет определять расстояния до предметов (цели, ориентира) по известной их величине и по углу видимости.

Пример. Танк противника (высотой 2 *м*) виден с наблюдательного пункта под углом 0-05 (измерено угломерным прибором).

Найти дальность до танка.

Р е ш е н и е. Дано: $В = 2$ *м*; $У = 0\text{-}05$.

По формуле (33) получим:

$$Д = \frac{В \cdot 1000}{У} = \frac{2 \cdot 1000}{5} = 400 \text{ м}$$

В случаях необходимости можно определить угол, под которым будет виден предмет известной высоты (ширины), или угол между двумя равноудаленными предметами. Для этого применяют формулу (34).

Пример. Расстояние между ориентиром 1 и целью (пулеметом противника) равно 150 *м*, дальность до этих точек равна 1000 *м* (измерено по карте). Определить угол *У* между ориентиром и целью.

Р е ш е н и е. Дано: $В = 150$ *м*; $Д = 1000$ *м*.

По формуле (34) получим:

$$У = \frac{В \cdot 1000}{Д} = \frac{150 \cdot 1000}{1000} = 150 \text{ тыс., или } 1\text{-}50.$$

Измерение углов с помощью приборов и подручных средств

Для измерения углов в стрелково-артиллерийской практике применяются обычные приборы наблюдения. В бинокле, перископе, монокуляре буссоли, стереотрубе, танковом прицеле и других приборах имеются угломерные сетки в тысячных [1], поэтому эти при-

[1] Расстояние между смежными штрихами угломерной сетки рассчитывается по известной формуле:

$$В = \frac{f \cdot У}{1000},$$

где f — фокусное расстояние объектива, $У$ — заданный угол в тысячных. В шестикратном бинокле, например, принято $У = 0\text{-}05$ и $f = 123$ *мм*;

$$В = \frac{123 \cdot 5}{1000} \approx 0{,}6 \text{ мм}.$$

боры являются не только приборами наблюдения, но и угломерными (рис. 49).

Для того чтобы измерить какой-либо угол с помощью угломерной сетки (например, бинокля), необходимо совместить перекрестие с основанием ориентира (местного предмета) и заметить, с каким делением сетки вправо (влево, вверх) совпала цель (или другой местный предмет). Так, например, на рис. 50 горизонтальный угол равен 0-25, а вертикальный 0-20.

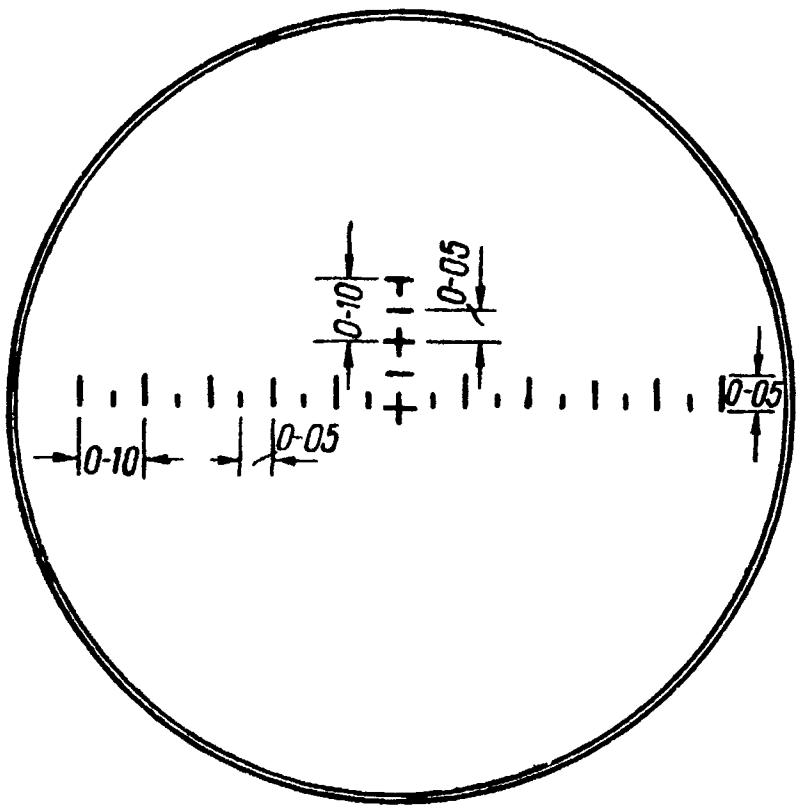


Рис. 49. Угломерная сетка бинокля

Рис. 50. Измерение углов с помощью бинокля

Кроме угломерных сеток, такие приборы, как буссоль и стереотруба, имеют специальные механизмы для измерения углов. Шкалы этих механизмов градуированы в делениях угломера и позволяют измерять углы с точностью до 0-01.

Во многих случаях с достаточной для практики точностью можно измерять углы с помощью подручных предметов, например, пальцев руки, спичечной коробки, масштабной линейки и др. Но для этого надо знать угловую величину того или иного предмета. Определить угловую величину предметов можно либо с помощью какого-нибудь угломерного прибора, либо расчетом по формуле $У = \frac{В \cdot 1000}{Д}$.

Допустим, что требуется определить, какому числу тысячных отвечает указательный палец вытянутой руки. С этой целью поступают следующим образом: вытягивают руку на 50 *см* на уровне глаз и сгибают кисть примерно под прямым углом к предплечью; на местности замечают предметы, ширина премежутка между которыми накрывается пальцем; с помощью угломерного прибора (буссоли или бинокля) измеряют угол между замеченными предметами (считая за вершину угла точку стояния). Полученный результат покажет угловую величину пальца в тысячных.

При необходимости измерить угол при помощи пальца надо вытянуть руку и заметить на местности предметы, ширина проме-

жутка между которыми накрывается пальцем. Угол между направлениями на предметы будет приближенно соответствовать угловой величине пальца в тысячных (рис. 51).

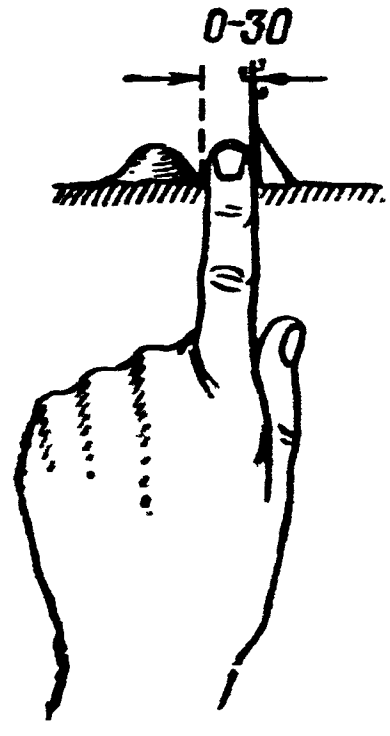


Рис. 51. Измерение углов с помощью пальца

В тех случаях, когда угломерного прибора нет, угловую величину подручного предмета можно определить расчетом. Так, например, 1 *см* масштабной линейки, расположенной на удалении 50 *см* от глаза, соответствует углу

$$У = \frac{1 \cdot 1000}{50} = 20 \text{ тысячных, или 0-20.}$$

Необходимо отметить, что точность измерения углов подручными предметами зависит главным образом от умения держать предмет всегда на одном расстоянии (например, 50 *см*) от глаза.

Точность же измерения расстояний зависит не только от точности измерения угла, но также и от знания линейных размеров (ширины или высоты) местных предметов, до которых измеряется расстояние.

2. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О ПРИЦЕЛИВАНИИ

Известно, что вследствие действия силы тяжести и сопротивления воздуха вращающийся снаряд при полете опускается под продолженной осью канала ствола и отклоняется в сторону от направления стрельбы. Следовательно, для того чтобы поразить цель, необходимо придать оси канала ствола определенное положение в пространстве с учетом вертикального понижения и возможного бокового отклонения пули (снаряда) при данной дальности стрельбы.

Придание оси канала ствола оружия определенного положения в горизонтальной и вертикальной плоскостях с расчетом, чтобы средняя траектория прошла через цель (желаемую точку на ней), называется **прицеливанием** или **наводкой.** Придание оси канала ствола требуемого положения в горизонтальной плоскости называется **горизонтальной наводкой.** Придание оси канала ствола требуемого положения в вертикальной плоскости называется **вертикальной наводкой.**

Горизонтальная и вертикальная наводка может выполняться одновременно, т. е. **нераздельно**, или же последовательно, т. е. **раздельно.**

При стрельбе из карабина, пистолета, автомата, ручного пулемета и другого стрелкового оружия выполняется только **нераздельная наводка.** При стрельбе же из миномета, независимо от того, видна или не видна цель от оружия, всегда выполняется **раздельная наводка.**

В зависимости от характера выполняемых огневых задач, видимости цели от оружия и конструкции прицелов наводка подразделяется на **прямую** и **непрямую.** Прямая наводка выполняется не-

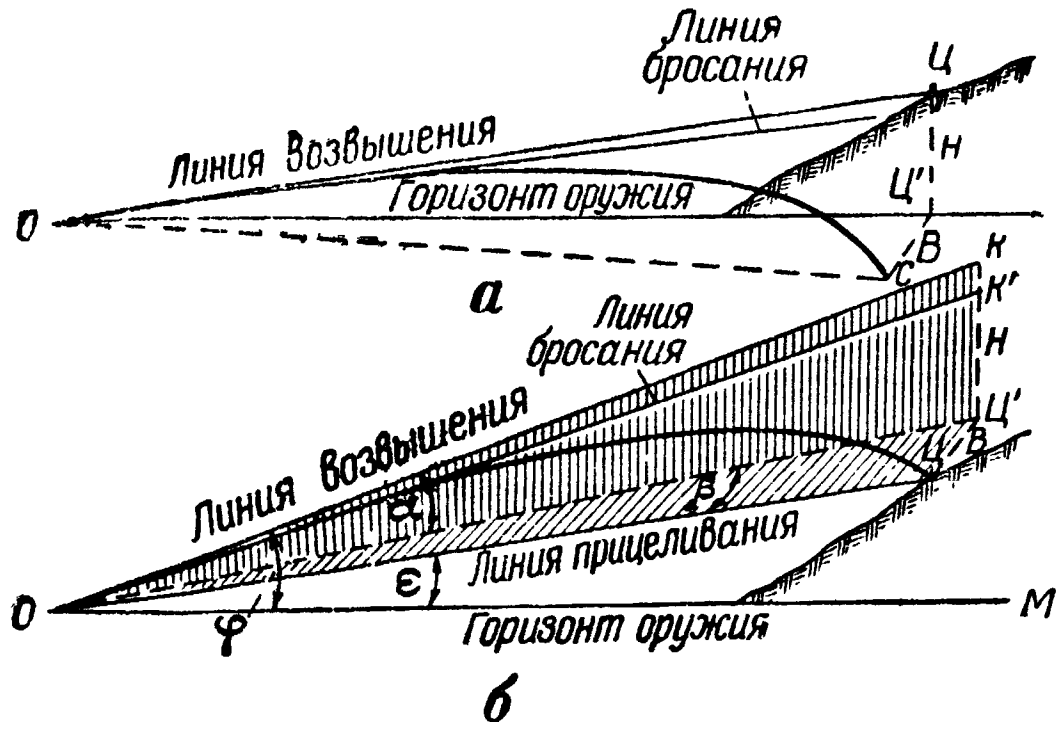


Рис. 52. Сущность прицеливания:

ОЦ — линия прицеливания; *ОК* — линия возвышения; *ОК'* — линия бросания; *Н* — понижение пули; угол α *(Ц'ОК)* — угол прицеливания; угол *КОК'* — угол вылета; угол ε *(ЦОМ)* — угол места цели; угол β *(ЦОЦ')* — угол боковой поправки; угол φ *(КОМ)* — угол возвышения

посредственным визированием по цели. При стрельбе из стрелкового оружия всегда выполняется прямая наводка.

Непрямая наводка выполняется визированием по вспомогательному предмету (вехе), когда цель от оружия не видна.

Рассмотрим сущность прицеливания. Предположим, что цель находится в точке *Ц* (рис. 52). Если мы направим ось канала ствола непосредственно в цель, то под действием силы тяжести пуля (снаряд) опустится под линией бросания вертикально вниз и пролетит ниже цели (или не долетит до нее). Кроме того, под действием ветра или вследствие деривации пуля (снаряд) может отклониться от цели и в горизонтальной плоскости. Следовательно, для того чтобы пуля (точнее, средняя траектория) прошла через точку *Ц*, необходимо направить линию возвышения не в цель (точку *Ц*), а выше — на величину вертикального понижения пули *Н* с учетом угла вылета *КОК'* и в сторону — на величину бокового отклонения $ЦЦ' = B$ (см. рис. 52).

Как видно из рис. 52, во время прицеливания производятся довольно точные геометрические построения с помощью прицельных приспособлений или прицелов. В прицелах всех конструкций имеется визир. В простейших прицелах он выполнен в виде целика и мушки.

Дадим определения некоторым терминам, применяемым при рассмотрении сущности прицеливания.

Точка прицеливания *Тц* — точка на цели или вне ее, в которую наводится оружие. При непрямой наводке визирование производится по вспомогательному местному предмету или же по специально выставленной вехе. В этом случае местный предмет или веха называется точкой наводки (*Тн*).

Линия прицеливания — прямая линия, проходящая от глаза стрелка через середину верхнего края прорези прицела и вершину мушки (т. е. через визир) в точку прицеливания.

Прицельная линия — прямая линия, соединяющая середину верхнего края прорези прицела с вершиной мушки.

Так как величина цели, оружия и тем более величина превышения мушки над осью ствола по сравнению с дальностью стрельбы незначительны, обычно цель и оружие принимаются за точки (рис. 53). Тогда вместо термина линия прицеливания упо-

требляют термин **линия цели** — прямая линия, соединяющая точку вылета с целью (ОЦ).

Прицельная дальность — расстояние от точки вылета до пересечения траектории с линией прицеливания.

Плоскость стрельбы — вертикальная плоскость, проходящая через линию возвышения.

Плоскость цели — вертикальная плоскость, проходящая через линию цели.

Плоскость наводки — вертикальная плоскость, проходящая через линию прицеливания (наводки).

Угол прицеливания α ($ЦОК$ или $Ц^1ОК$) — угол, заключенный между линией прицеливания и линией возвышения (см. рис. 52).

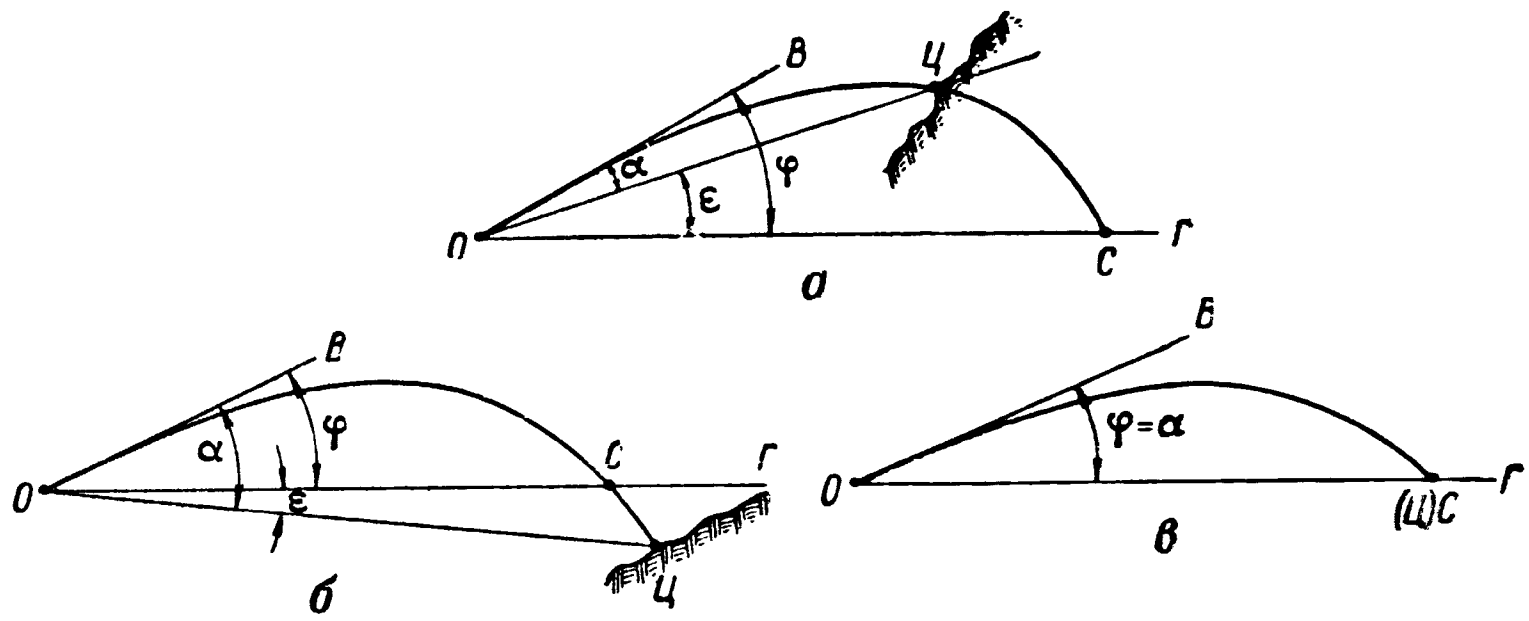


Рис. 53. Зависимость между углами возвышения, прицеливания и места цели

а) $\varepsilon > 0$; $\varphi = \alpha + \varepsilon$; б) $\varepsilon < 0$; $\varphi = \alpha + (-\varepsilon)$; в) $\varepsilon = 0$; $\varphi = \alpha$

В зависимости от конструкции прицела линия прицеливания может быть расположена в плоскости стрельбы (например, у карабина, автомата) или же в плоскости наводки (например, у ручного пулемета при установке целика, отличной от нуля). Но угол прицеливания α всегда рассматривается в плоскости стрельбы (во втором случае, как проекция на эту плоскость). Угол боковой поправки при прямой наводке заключен между плоскостью стрельбы и плоскостью цели.

Угол наводки $\beta_н$ рассматривается при непрямой наводке, как угол, заключенный между плоскостью стрельбы и плоскостью наводки.

Угол места цели ε — угол, заключенный между линией цели (или, что практически одно и то же, линией прицеливания) и горизонтом оружия. Угол места цели показывает превышение (понижение) цели над (под) горизонтом оружия и поэтому может быть положительным и отрицательным.

Угол места цели считается положительным (+), когда цель выше горизонта оружия, и отрицательным (—), когда цель ниже горизонта оружия (см. рис. 53).

Обычно рассматривают угол места цели ε в плоскости стрельбы. Тогда окажется, что угол возвышения φ равен алгебраической сумме угла прицеливания α и угла места цели ε (см. рис. 53):

$$\varphi = \alpha + \varepsilon. \qquad (35)$$

Для того чтобы придать оси канала ствола требуемое положение в пространстве, необходимо прежде всего определить численные значения угла прицеливания и угла боковой поправки. Эта работа, заключающаяся по существу в определении установок прицела, входит в подготовку исходных данных для стрельбы.

Подготовленные данные устанавливаются на прицеле так, чтобы направляющие линии (прицельная линия, ось уровня) составили с осью канала ствола требуемые углы. Эта работа является первым этапом решения задачи прицеливания. При установке работают только механизмами прицела.

Второй этап решения задачи прицеливания заключается в том, что, не изменяя установленных углов на оружии, с помощью механизмов наводки или просто руками совмещают при визировании прицельную линию с точкой прицеливания. При этом ось канала ствола принимает требуемое положение в пространстве.

3. ЗАВИСИМОСТЬ УГЛА ПРИЦЕЛИВАНИЯ ОТ УГЛА МЕСТА ЦЕЛИ

При стрельбе по целям, расположенным значительно выше или ниже горизонта оружия, не только величина угла возвышения изменяется в зависимости от величины угла места цели, но и сам угол прицеливания не остается постоянным для достижения одной и той же наклонной дальности.

Изменение угла прицеливания в зависимости от угла места цели происходит вследствие изменения кривизны траектории. Для стрельбы в безвоздушном пространстве эта зависимость между величиной угла прицеливания и величиной угла места цели определяется следующей формулой [1]:

$$\sin(2\alpha + \varepsilon) = \sin 2\alpha_0 \cos^2 \varepsilon + \sin \varepsilon, \qquad (36)$$

где ε — угол места цели;

α_0 — угол прицеливания при угле места цели, равном нулю;

α — угол прицеливания при заданном угле места цели ε.

При стрельбе в воздухе общий характер зависимости остается тот же, несмотря на существенное влияние, которое оказывает действие силы сопротивления воздуха на изменение угла прицеливания. Поэтому в ряде случаев (при малых углах прицеливания) с достаточной для практики точностью формулой Лендера можно пользоваться и для расчета углов прицеливания при стрельбе в воздухе.

Пример. При стрельбе из ручного пулемета на дальность 500 *м* по цели, расположенной на горизонте оружия, требуется установить угол прицеливания $\alpha_0 = 0°26'$ (прицел 5). Определить, какой угол прицеливания необходим для поражения цели, расположенной на той же наклонной дальности 500 *м*, но при угле места цели: а) $\varepsilon_1 = +15°$ и б) $\varepsilon_2 = -15°$.

Решение.

а) $\sin(2\alpha + \varepsilon) = \sin 0°52' \cdot \cos^2 15° + \sin 15° = 0{,}0151 \cdot 0{,}9659^2 + 0{,}2588 = 0{,}2729;$

$$2\alpha + 15° = 15°50'; \qquad 2\alpha = 50'; \qquad \alpha = 25'.$$

---

[1] Формула (36) выведена профессором Артиллерийской академии Ф. Ф. Лендером на основе параболической теории и носит его имя.

б) $\sin(2\alpha - \varepsilon) = \sin 0°52' \cdot \cos^2(-15°) + \sin(-15°) = 0{,}0151 \cdot 0{,}9659^2 - 0{,}2588 =$
$= -0{,}2447;$

$$2\alpha - 15° = -14°10'; \qquad 2\alpha = 50'; \qquad \alpha = 25'.$$

Из примера видно, что для поражения цели на дальности 500 *м* при угле места цели, равном 15°, угол прицеливания α должен быть меньше угла прицеливания α_0 на 1′. Это и будет являться поправкой угла прицеливания на изменение кривизны траектории (на угол места цели), которая в общем виде выражается равенством:

$$\Delta\alpha_\varepsilon = \alpha - \alpha_0.$$

С увеличением угла места цели для различных наклонных дальностей углы прицеливания будут уменьшаться, а поправки угла прицеливания на угол места цели $\Delta\alpha_\varepsilon$ по своему абсолютному значению — увеличиваться.

Например, при стрельбе из ручного пулемета на дальность 500 *м* при углах места цели а) $\varepsilon = +25°$, б) $\varepsilon = +50°$, в) $\varepsilon = -50°$ углы прицеливания α и поправки $\Delta\alpha_\varepsilon$ будут равны:

а) $\alpha_0 = 26'$, $\alpha = 23'30''$, $\Delta\alpha_\varepsilon = \alpha - \alpha_0 = 23'30'' - 26' = -2'30''$;

б) $\alpha_0 = 26'$, $\alpha = 16'30''$, $\Delta\alpha_\varepsilon = \alpha - \alpha_0 = 16'30'' - 26' = -9'30''$;

в) $\alpha_0 = 26'$, $\alpha = 16'30''$, $\Delta\alpha_\varepsilon = \alpha - \alpha_0 = 16'30'' - 26' = -9'30''$.

При стрельбе на дальность 700 *м* ($\alpha_0 = 47'$) при тех же углах места цели углы прицеливания α и поправки $\Delta\alpha_\varepsilon$ будут равны соответственно:

а) $\alpha = 43'$, $\Delta\alpha_\varepsilon = \alpha - \alpha_0 = 43' - 47' = -4'$;

б) $\alpha = 30'30''$, $\Delta\alpha_\varepsilon = \alpha - \alpha_0 = 30'30'' - 47' = -16'30''$;

в) $\alpha = 30'$, $\Delta\alpha_\varepsilon = \alpha - \alpha_0 = 30' - 47' = -17'$.

Таким образом, при стрельбе по целям, расположенным значительно выше (ниже) горизонта оружия, для повышения действительности огня необходимо учитывать поправку угла прицеливания на угол места цели.

Углы прицеливания для стрельбы из стрелкового оружия малы и практически не превышают 6°. В этих условиях можно преобразовать формулу Лендера, принимая $\cos\alpha$, $\cos\alpha_0$ и даже $\cos 2\alpha$ и $\cos 2\alpha_0$ равными единице. Действительно, если $\alpha = 6°$, то $\cos 2\alpha = \cos 12° = 0{,}978$, т. е. практически близок к единице.

Преобразуем несколько формулу Лендера и запишем:

$$2\sin\alpha \cdot \cos\alpha \cdot \cos\varepsilon + \cos 2\alpha \cdot \sin\varepsilon = 2\sin\alpha_0 \cdot \cos\alpha_0 \cdot \cos^2\varepsilon + \sin\varepsilon.$$

Считая $\cos 2\alpha = 1$; $\cos\alpha = 1$ и $\cos\alpha_0 = 1$,
получим:

$$2\sin\alpha \cdot \cos\varepsilon + \sin\varepsilon = 2\sin\alpha_0 \cdot \cos^2\varepsilon + \sin\varepsilon.$$

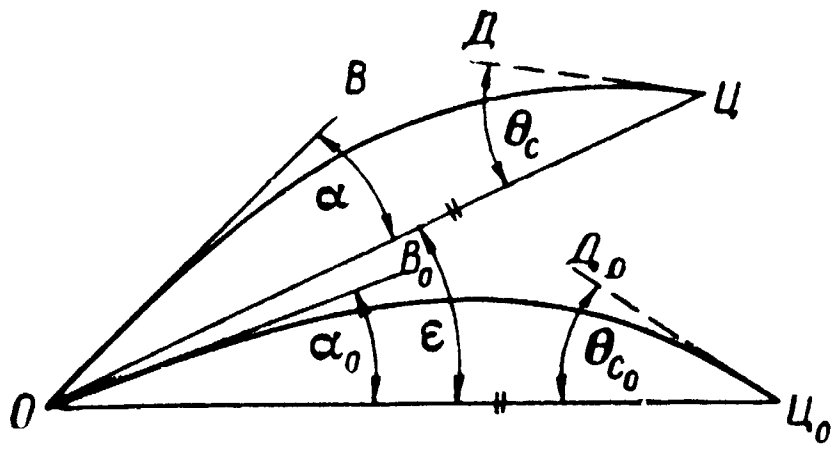


Рис. 54. Начало „жесткости" траектории

Вычтя из обеих частей равенства $\sin\varepsilon$ и затем сократив на $2\cos\varepsilon$, получим:

$$\sin\alpha = \sin\alpha_0 \cdot \cos\varepsilon. \qquad (37)$$

В этом виде формула применяется для учета угла места цели при конструировании некоторых зенитных прицелов к крупнокалиберным пулеметам.

Если стрельба из стрелкового оружия ведется при малых углах места цели ($\varepsilon < \pm 15°$), то в формуле (37) практически можно считать $\cos\varepsilon = 1$. Тогда:

$$\sin\alpha = \sin\alpha_0$$

и

$$\alpha = \alpha_0, \qquad (38)$$

т. е. при малых углах места цели ($\varepsilon < \pm 15°$) угол прицеливания не зависит от угла места цели. Этот вывод носит название **начала «жесткости» траектории,** потому что он предполагает вращение траектории без изменения ее формы (рис. 54), т. е. $\alpha = \alpha_0$, $ОЦ = ОЦ_0$ и $\theta_c = \theta_{c0}$ (угол падения равен углу падения табличному). Следовательно, при наличии небольшого угла места цели ($\varepsilon < \pm 15°$) стрельба ведется с тем же прицелом, с которым велась бы стрельба по цели, расположенной на горизонте оружия на той же дальности.

Стрельба из минометов производится при углах возвышения, бóльших 45°. В этом случае угол места цели будет влиять на величину угла возвышения φ иначе.

Из рис. 55 видно, что при стрельбе из минометов по целям, расположенным на одной наклонной дальности ($ОЦ_1 = ОЦ_2 = ОЦ_0$), при наличии угла места цели необходимо угол возвышения увеличивать, если цель ниже горизонта оружия, и уменьшать, если цель выше горизонта оружия ($\varphi_1 < \varphi_0$ и $\varphi_2 > \varphi_0$).

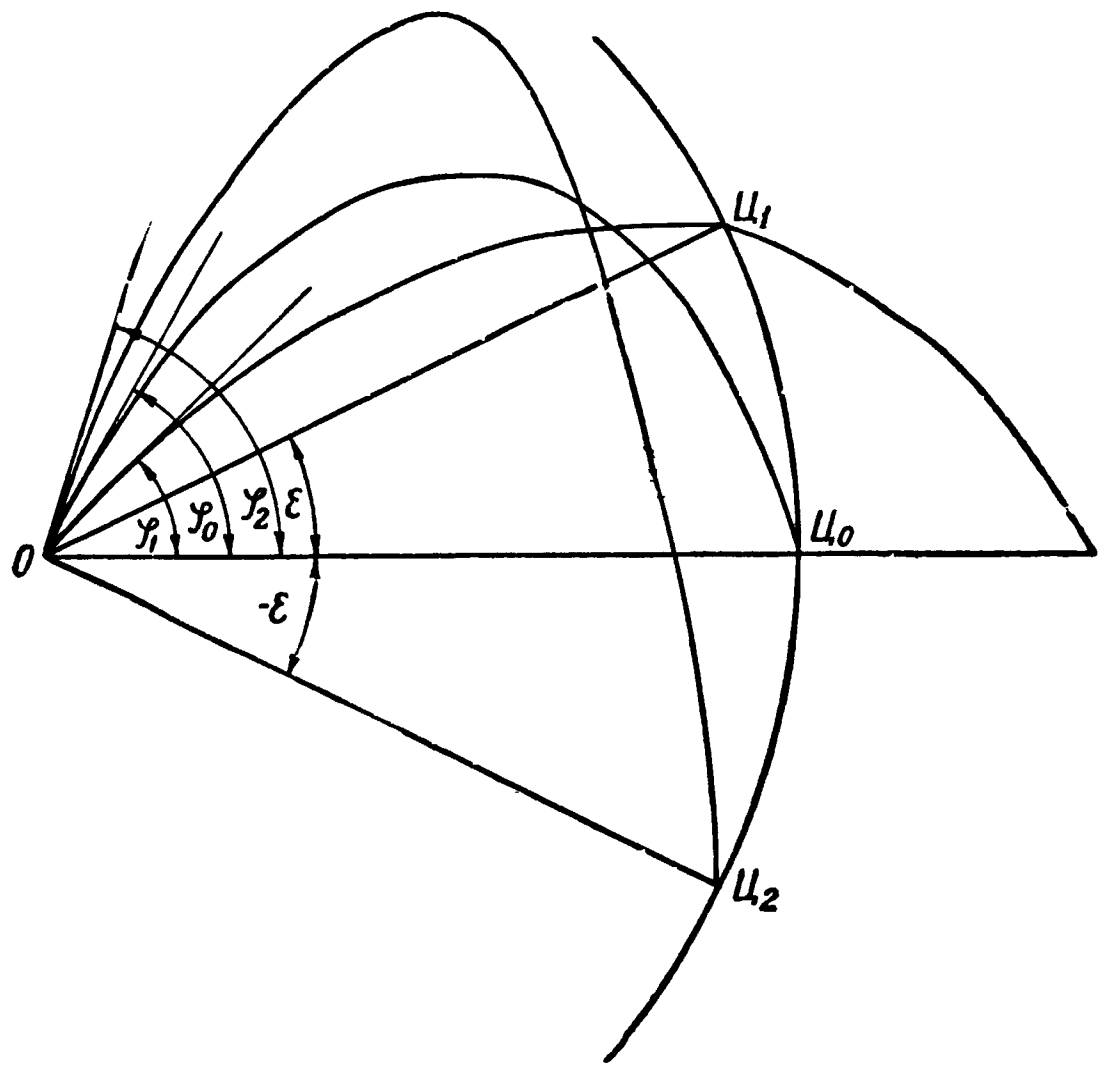


Рис. 55. Зависимость φ от ε при стрельбе из 82-*мм* минометов

4. ПРИЦЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Прицельные приспособления оружия должны позволять быстро и с требуемой точностью производить прицеливание (наводку).

Прицелы, применяемые в стрелковом оружии, можно разделить на открытые, диоптрические и оптические.

Открытые прицелы

Открытые прицелы устраиваются в виде целика и мушки. Прорезь целика (прицела) может иметь различную форму: прямоугольно-полукруглую, полукруглую, прямоугольную и треугольную (рис. 56, *а*).

Мушка по своему устройству может быть прямоугольной, треугольной и др.

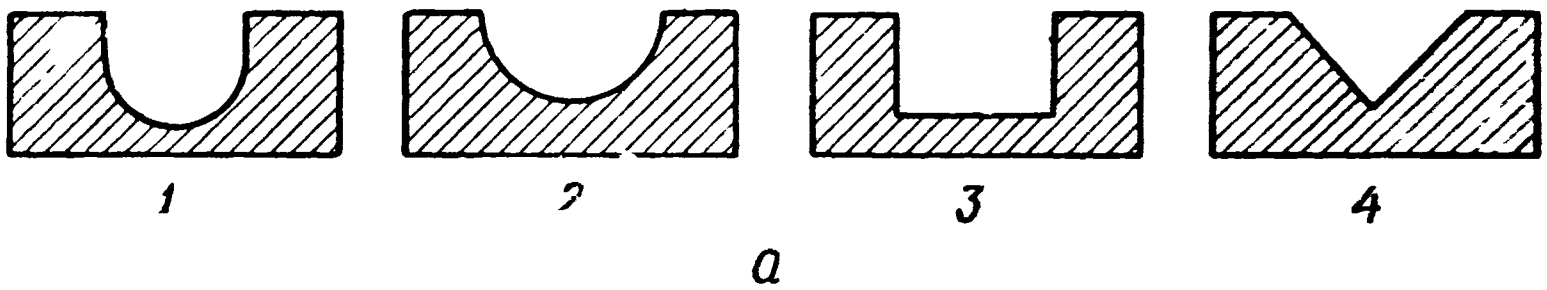


Рис. 56. Формы прорезей, прицелов и мушек:

а — формы прорезей: *1* — прямоугольно-полукруглая; *2* — полукруглая; *3* — прямоугольная; *4* — треугольная; *б* — формы мушек: *1* — прямоугольная; *2* — треугольная

Опыт показал, что наилучшие результаты при стрельбе в обычных условиях дает прямоугольно-полукруглая прорезь в сочетании с прямоугольной мушкой. Такая прорезь сделана на прицеле карабина, пистолета, автомата и некоторых других видах оружия.

Расстояние между глазом и целиком принимается 250—300 *мм* (для станковых пулеметов — меньше). При этом видимая ширина мушки должна быть в пределах 2,0—2,9 тысячной, а прорези — около 4—5 тысячных.

Механизмы для установки углов прицеливания в открытых прицелах конструктивно оформляются различным образом. Наибольшее распространение имеют прицелы секторные, рамочные и стоечные (рис. 57).

Установка угла прицеливания и угла боковой поправки производится изменением высоты прицела, т. е. высоты целика над вершиной мушки (угол прицеливания), и перемещением его в боковом направлении или выносом точки прицеливания (угол боковой поправки).

Высота мушки *L* (рис. 58) определяется расстоянием по нормали от оси канала ствола до вершины мушки. Например, высота мушки у станкового пулемета равна 56 *мм*.

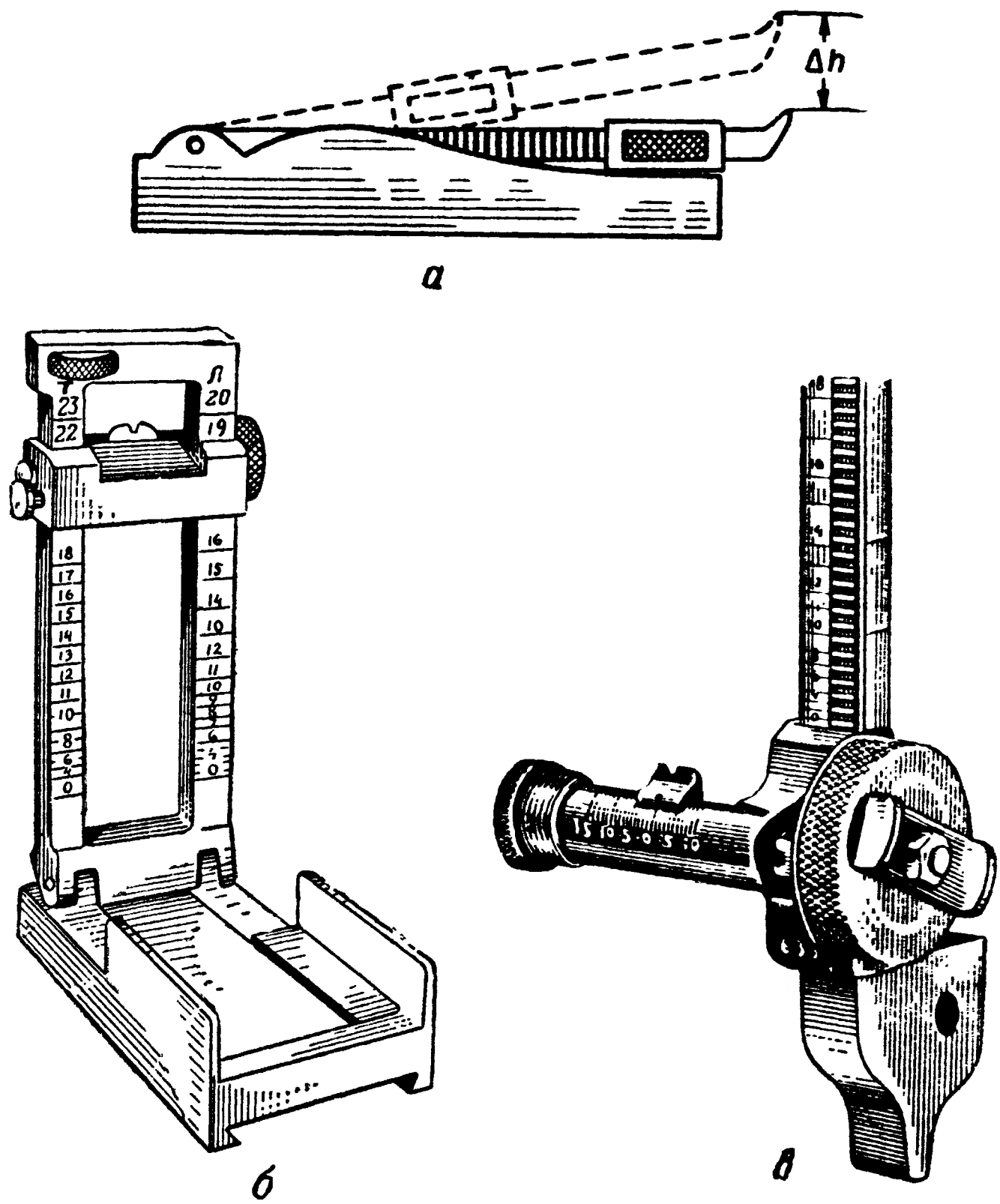


Рис. 57. Прицелы:
а — секторный; *б* — рамочный; *в* — стоечный

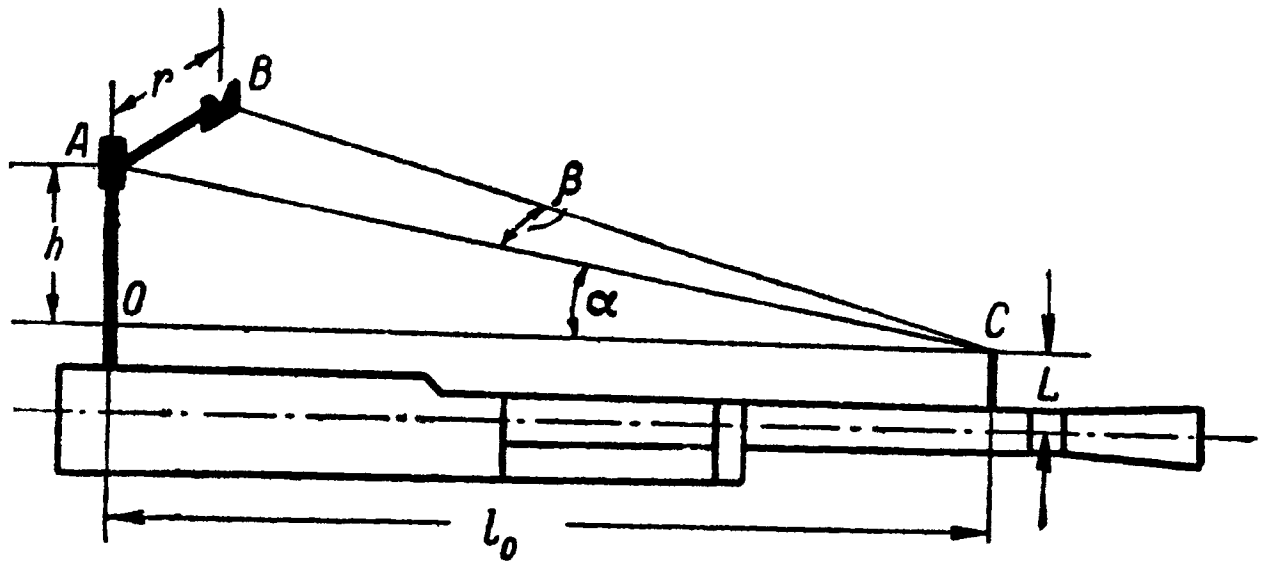


Рис. 58. Зависимость высоты прицела от угла прицеливания

Высота прицела h есть разность между расстоянием от оси канала ствола до середины верхнего края прорези прицела и высотой мушки. Если высота прицела равна нулю, то такая установка называется нулевой. При нулевой установке прицела линия прицеливания параллельна оси канала ствола и носит название **нулевой линии прицеливания.**

Высота прицела находится в следующей зависимости от угла прицеливания α.

Из треугольника AOC (см. рис. 58) видно, что высота прицела

$$h = l_0 \operatorname{tg} \alpha, \text{ или } h = \frac{l_0 \cdot \alpha'}{1000},$$

где: α — угол прицеливания в градусах или α' — в тысячных;

l_0 — длина прицельной линии при нулевых установках прицела (база прицела).

Например, высота прицела автомата АК при установке 4 равна приближенно 2,95 *мм* $\left(h = \frac{378 \cdot 7{,}8}{1000}\right)$.

Открытые прицелы имеют дистанционную шкалу углов прицеливания. Цена одного деления прицела обычно 100 *м* и реже 50 *м*.

Для построения на местности угла боковой поправки β в открытых прицелах иногда устраивают подвижной целик (например, у ручного пулемета). Шкала целика дается обычно в тысячных. Расстояние между штрихами шкалы определяется по формуле:

$$r = l_0 \operatorname{tg} \beta$$

или по формуле (32):

$$r = \frac{l_0 У}{1000},$$

где $У$ — угловая величина одного деления целика (обычно $У = 0\text{-}01$ и реже 0-02).

При построении угла боковой поправки с помощью открытого прицела, имеющего неподвижный целик, прибегают к выносу точки прицеливания на линейную величину угла β. Величина выноса точки прицеливания обычно измеряется в видимых размерах цели для данной дальности (в фигурах).

Сущность прямой наводки с открытым прицелом заключается в следующем (рис. 59).

Допустим, что исходными данными для стрельбы из станкового пулемета на дальность 600 *м* являются: прицел 6, целик влево 2 ($\alpha = 0\text{-}06{,}9$ и $\beta = 0\text{-}02$). Эти данные устанавливают на прицеле.

Если посмотреть теперь через прорезь прицела (целика) и вершину мушки, то окажется, что прицельная линия направлена ниже и правее цели. Действуя механизмами наводки, прицельную линию совмещают с точкой прицеливания. Если при этом середина верхнего края прорези прицела (целика), вершина мушки и точка прицеливания будут лежать на одной прямой, то ось канала ствола примет требуемое положение в пространстве.

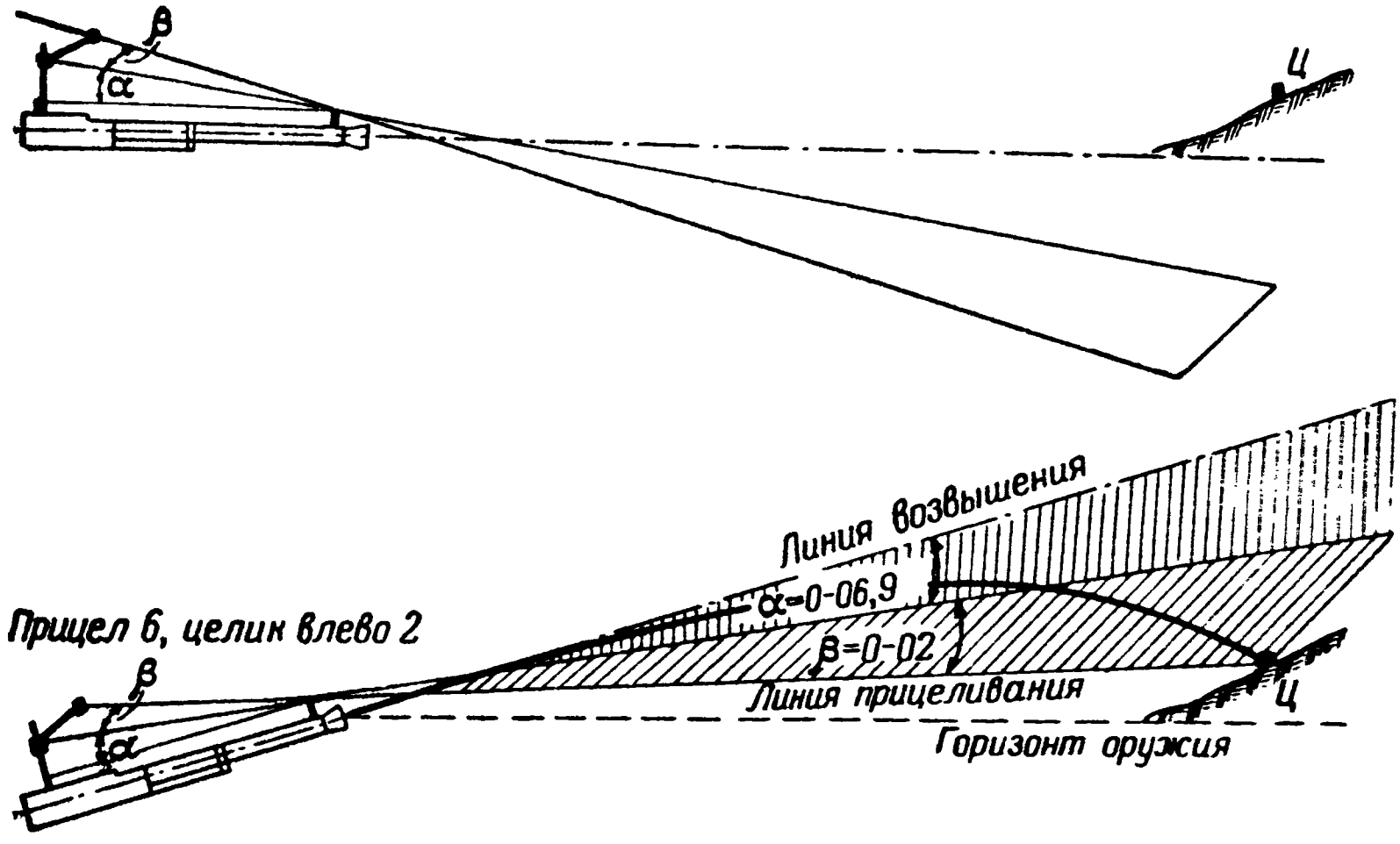


Рис. 59. Выполнение прямой наводки (прицеливания) с помощью открытого прицела

С помощью открытого прицела можно вести стрельбу также и по движущимся целям.

При подготовке исходных данных для стрельбы по движущимся целям, так же как и по неподвижным целям, необходимо определить угол прицеливания и угол боковой поправки. Величина этих углов зависит, кроме указанных ранее факторов, еще и от так называемого упреждения. **Упреждением** называется поправка на перемещение цели. Величина упреждения зависит от скорости и направления движения цели и от дальности до нее.

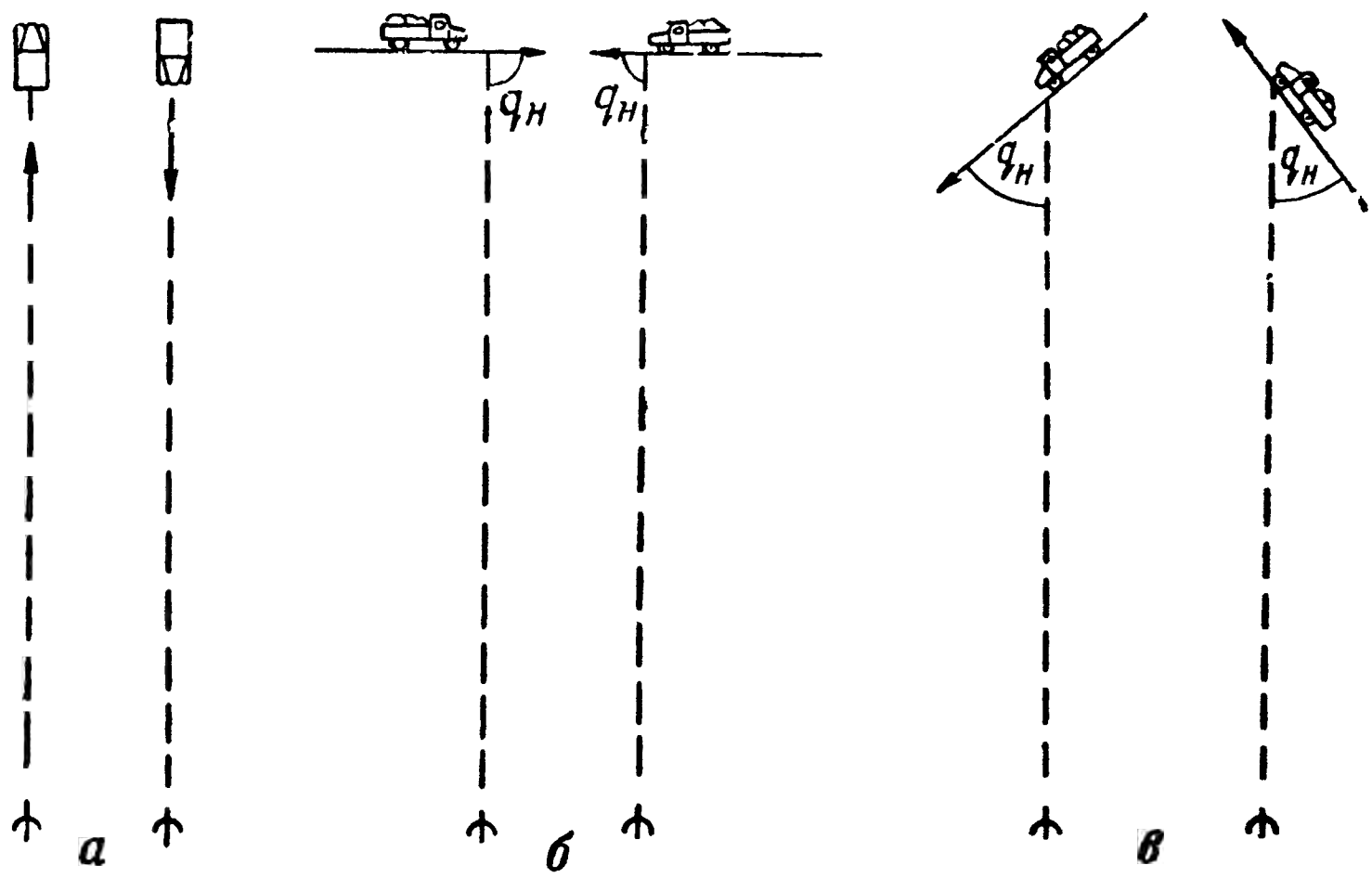


Рис. 60. Курс цели:
а — фронтальный; *б* — фланговый; *в* — облический

Направление движения цели характеризуется **курсовым углом** $q_н$, который образуется направлением движения цели (курсом цели) и направлением на оружие. Курс цели может быть **фронтальным**, когда курсовой угол $q_н = 0°$, **фланговым**, когда курсовой угол $q_н = 90°$, и **облическим**, когда курсовой угол не равен прямому (рис. 60).

Рассмотрим порядок подготовки исходных данных при стрельбе по движущимся целям.

Допустим, что стрельбу предполагается вести из карабина на расстояние 400 *м* по перебегающей вдоль фронта цели (скорость движения цели $v_ц = 3$ *м/сек*).

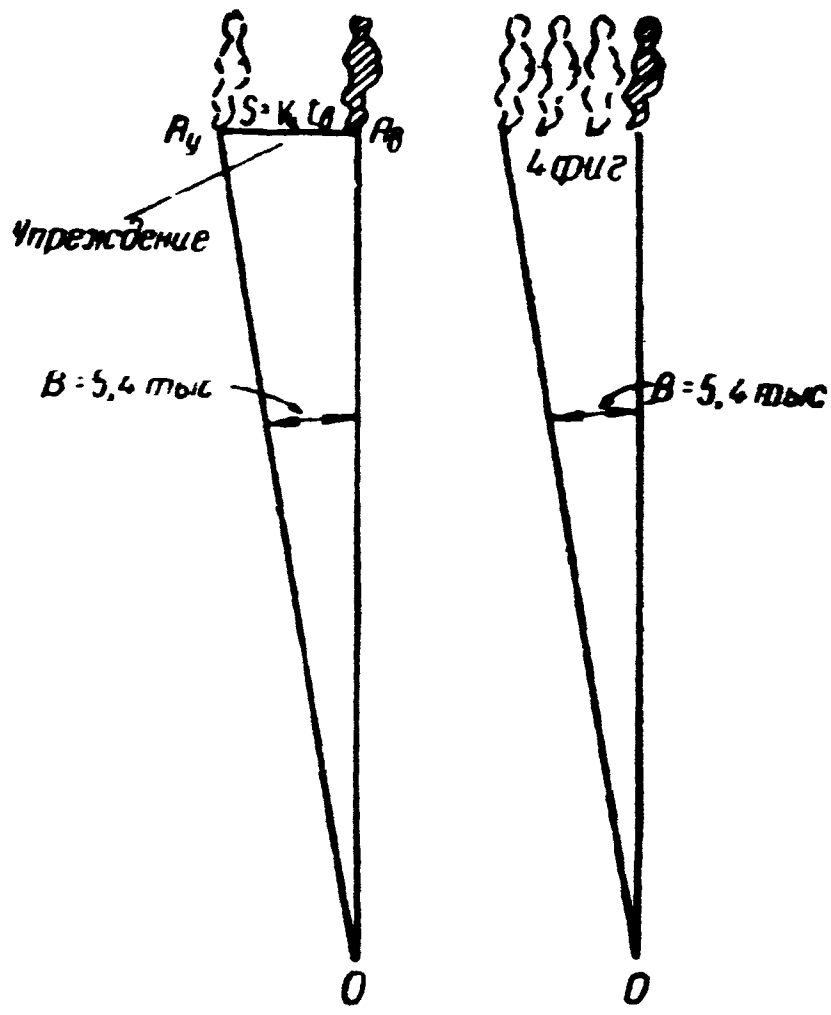


Рис. 61. Боковое упреждение

Если произвести выстрел с прицелом 4, прицеливаясь непосредственно в цель $A_в$ (рис. 61), то очевидно, что попадания не будет, так как за время полета пули цель переместится в точку $A_у$ на величину линейного упреждения.

$$s = v_ц t_в,$$

где $t_в$ — время полета пули на дальность 400 *м*.

Для поражения цели в этих условиях необходимо, не изменяя установки прицела, вынести направление стрельбы по пути движения цели на величину $v_ц t_в$.

Определим величину линейного упреждения. Для этого найдем сначала в таблице стрельбы время полета пули $t_в = 0{,}72$ сек. и затем подставим значение его в формулу:

$$s = Уn_z = v_ц t_в = 3 \cdot 0{,}72 = 2{,}16 \text{ } м.$$

Но так как определить на местности величину упреждения в метрах невозможно, то обычно его учитывают в видимых силуэтах цели, т. е. в фигурах. Приняв ширину фигуры равной 0,5 *м*, найдем, что точку прицеливания надо вынести примерно на 4 фигуры (2,16 : 0,5). Таким образом, угол боковой поправки (боковое упреждение) на данную дальность будет равен

$$\beta = \frac{2{,}16}{0{,}001Д} = \frac{2{,}16}{0{,}001 \cdot 400} = 5{,}4 \text{ тыс.}$$

При движении цели в плоскости стрельбы, а также в некоторых случаях и при облическом движении (например, при малых курсовых углах или же при больших значениях скорости цели) учитывается упреждение по дальности (упреждение на работное время).

Этим упреждением корректируется изменение дальности в зависимости от пути, пройденного целью за время, необходимое командиру на подготовку исходных данных и подачу команды, а расче-

ту — на изготовку к стрельбе (работное время $t_р$). Если взять работное время $t_р = 30$ сек., то при скорости движения цели $v_ц = 3$ *м/сек* перемещение цели, т. е. упреждение, будет равно: $Уп_х = 3 \cdot 30 = 90$ *м*, или приблизительно одному делению прицела. Если же цель движется со скоростью $v_ц = 10$ *м/сек,* то $Уп_х = 10 \cdot 30 = 300$ *м*, т. е. трем делениям прицела. Поэтому на практике прицел устанавливают меньше (больше) исходной (текущей) дальности при стрельбе по пешим целям на 1—2 деления, а по мотоцелям — на 2—3 деления [1].

С помощью открытого прицела можно вести огонь и по воздушным целям. Стрельба из стрелкового оружия по воздушным целям

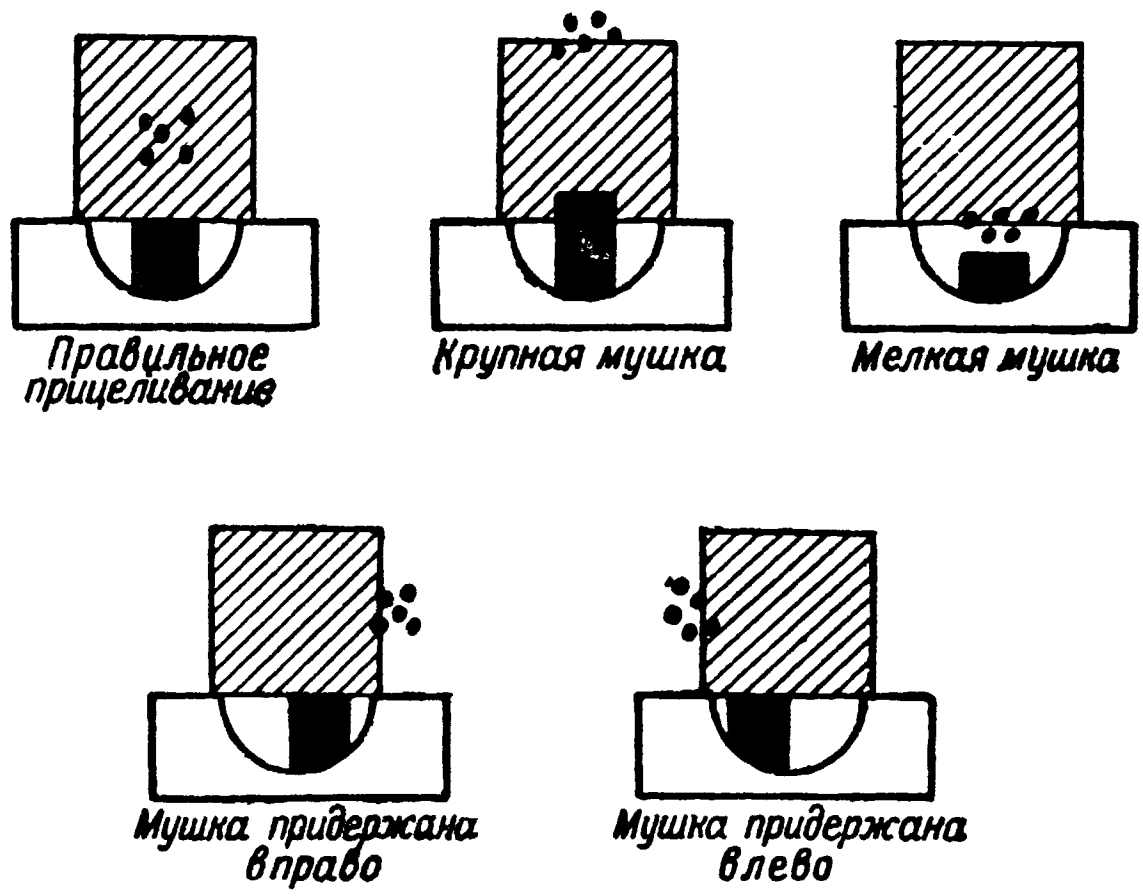


Рис. 62. Возможные отклонения пуль при ошибках в прицеливании

(самолетам, вертолетам, парашютистам) ведется на расстояниях до 500 *м* с прицелом 3. Установка прицела 3 благодаря настильности траектории и большим углам места цели обеспечивает на этих расстояниях прохождение средней траектории в пределах цели по высоте.

Определение величины бокового упреждения производится так же, как и при стрельбе по наземным движущимся целям.

При стрельбе по наземным целям с помощью открытого прицела очень важно, чтобы стрелок удерживал вершину мушки в середине верхнего края прорези прицела и вровень с его краями (удерживал ровную мушку), так как даже незначительные колебания видимого положения мушки будут являться причиной отклонения средней траектории от точки прицеливания.

Наиболее характерными ошибками в прицеливании являются следующие (рис. 62):

1) мушка придержана вправо (влево) — средняя траектория отклонится вправо (влево);

---

[1] Перемещение цели в плоскости стрельбы за время полета пули незначительное, поэтому при практических расчетах оно не учитывается.

2) крупная (мелкая) мушка — средняя траектория отклонится вверх (вниз);

3) сваливание оружия — средняя траектория отклонится в сторону сваливания и вниз.

Для уяснения сказанного разберем следующий пример. На дальность 400 *м* ведется огонь из автомата и из станкового пулемета. Допустим, что при наводке допускается одна и та же ошибка: мушка придерживается в сторону на 0,5 *мм*. Определим, какое влияние окажет ошибка прицеливания в том и другом случае на положение средней траектории относительно точки прицеливания (рис. 63).

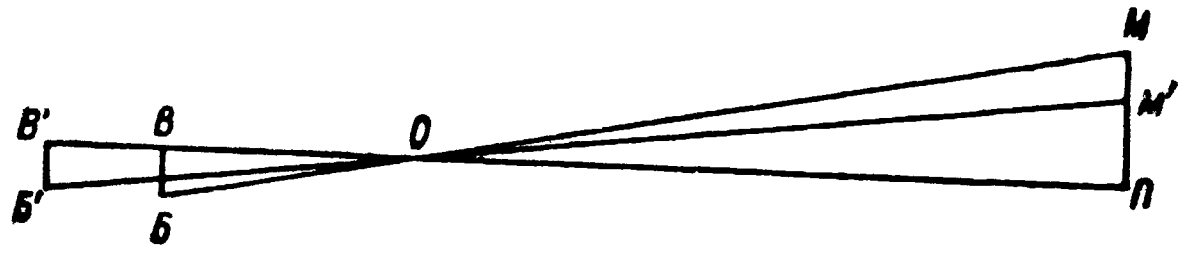


Рис. 63. Влияние длины прицельной линии на отклонение средней траектории

Известно, что длина прицельной линии автомата $l_0 = 378$ *мм*, а станкового пулемета — $l_0' = 855$ *мм*; $БВ = Б'В' = 0{,}5$ *мм* (по условию); $ОВ = l_0 = 378$ *мм*; $ОВ' = l_0' = 855$ *мм*; $ОП$ — дальность стрельбы, равная 400 *м*; $ПМ'$ и $ПМ$ — отклонения средних траекторий пулемета и автомата.

Треугольники $БОВ$ и $МОП$, $Б'ОВ'$ и $М'ОП$ подобны, следовательно:

$$ПМ = \frac{БВ \cdot ОП}{ОВ} = \frac{0{,}5 \cdot 400\,000}{378} \approx 529 \text{ мм, или } 52{,}9 \text{ см.}$$

$$ПМ' = \frac{Б'В' \cdot ОП}{ОВ'} = \frac{0{,}5 \cdot 400\,000}{855} \approx 234 \text{ мм, или } 23{,}4 \text{ см.}$$

Пример показывает, что отклонение мушки в прорези прицела (неровная мушка) вызывает весьма существенные ошибки в стрельбе, особенно из короткоствольного оружия.

Крупная (мелкая) мушка является причиной отклонения средней траектории по высоте. Величина отклонения в этом случае будет такая же, как и по боковому направлению.

Важно отметить, что смещение линии прицеливания относительно точки прицеливания при условии сохранения ровной мушки большого влияния на отклонение средней траектории не оказывает и на точность стрельбы практически мало влияет.

Некоторое влияние на результат стрельбы оказывает сваливание оружия. Из рис. 64 видно, что при правильном прицеливании траектория пройдет через точку *П*. Если же оружие будет свалено вправо (влево) на угол ν, то продолженная линия бросания опишет дугу $ДД_1$ окружности радиуса $ТцД$ вокруг точки *Тц*. Поэтому и точка пересечения траектории с целью $П_1$ будет расположена правее (левее) и ниже точки *П*.

Как показывают расчеты, величины отклонений по боковому направлению $ВП_1$ и по высоте $ВП$ на малых дальностях незначительны. Так, например, при стрельбе из автомата на дальность 200 *м* с прицелом 3 при угле сваливания $\nu = 5°$ средняя точка попадания отклонится в боковом направлении примерно на 10 *см*, а по высоте на 0,4 *см*; при стрельбе на 400 *м* соответствующие отклонения будут равны 27 *см* и 1,2 *см*.

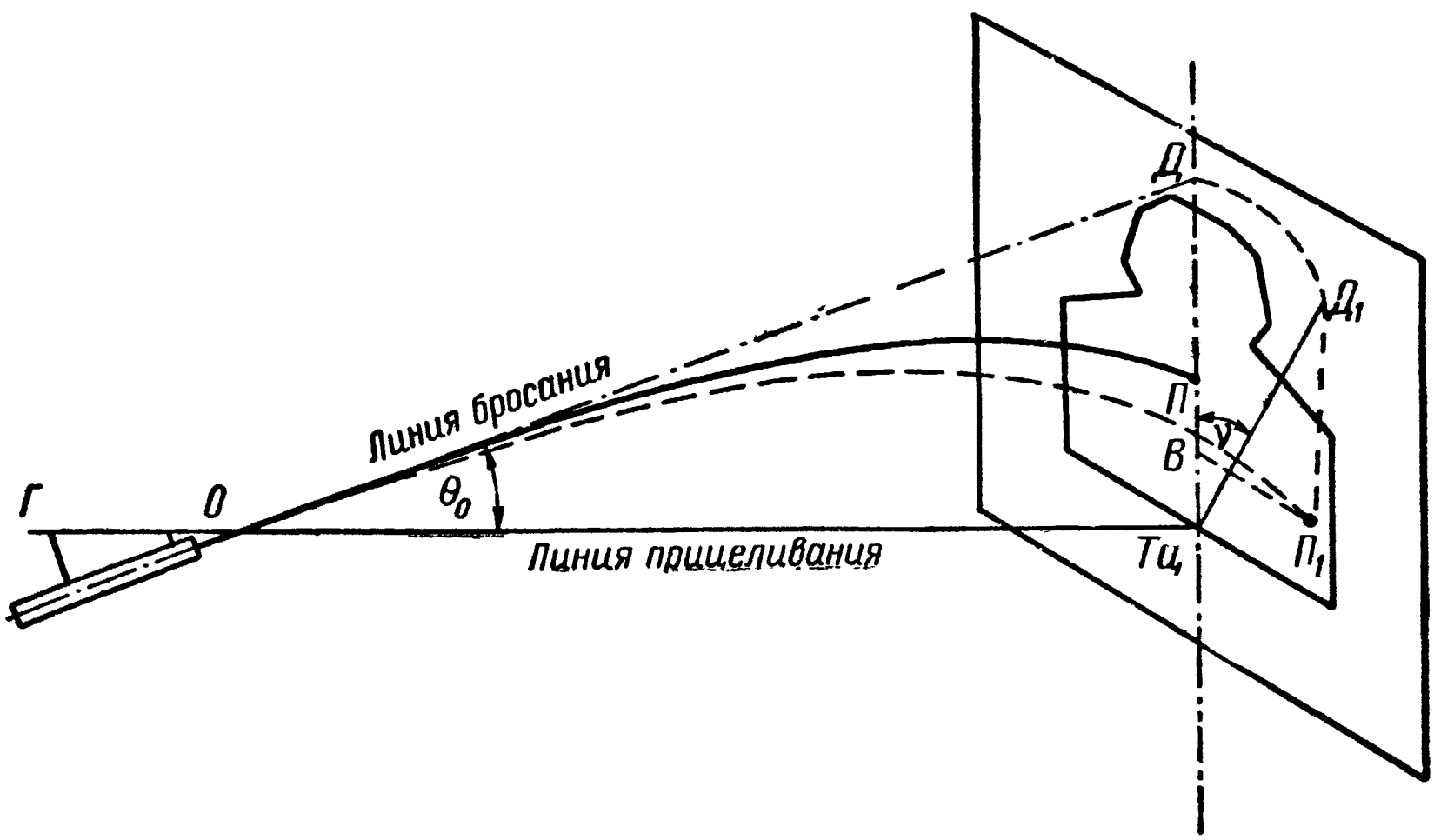


Рис. 64. Схема сваливания карабина

Таким образом, при стрельбе на малые дальности сваливание оружия заметного влияния на точность стрельбы не оказывает. Но это не означает, что можно допускать сваливание оружия. Например, при стрельбе из ротного пулемета с неровной площадки на дальностях 700—800 *м* боковое отклонение достигает уже заметной величины; кроме того, при наклонном положении прицела затрудняется прицеливание, увеличиваются ошибки в наводке, вследствие чего значительно снижается меткость стрельбы.

Открытый прицел является основным типом прицела для стрелкового оружия. При помощи его можно достигнуть высоких результатов в стрельбе на малые и средние дальности. Точность прицеливания при помощи открытого прицела зависит от умения удерживать глаз на одном расстоянии от прорези прицела, размеров цели, условий освещения и дальности до цели. При увеличении дальности стрельбы величина угла, под которым видна цель, уменьшается, вследствие чего увеличиваются ошибки в наводке.

Опытным путем установлено, что максимальная величина ошибки в наводке с открытым прицелом находится в пределах от 2 до 6′,5, или от 0,5 до 1,8 тысячной, в зависимости от характера цели, освещения и т. п.

Диоптрические прицелы

Стремление облегчить прицеливание и улучшить меткость стрельбы привело к созданию так называемого **диоптрического прицела.** В этом прицеле целик устроен в виде пластинки с круглым отверстием в центре диаметром около 1,5 *мм*; пластинка называется диоптром (рис. 65). Формы мушек могут быть самые различные: прямоугольные, кольцевые, прямоугольные с шариком в вершине и др.

Принципиальная схема устройства прицела представлена на рис. 66.

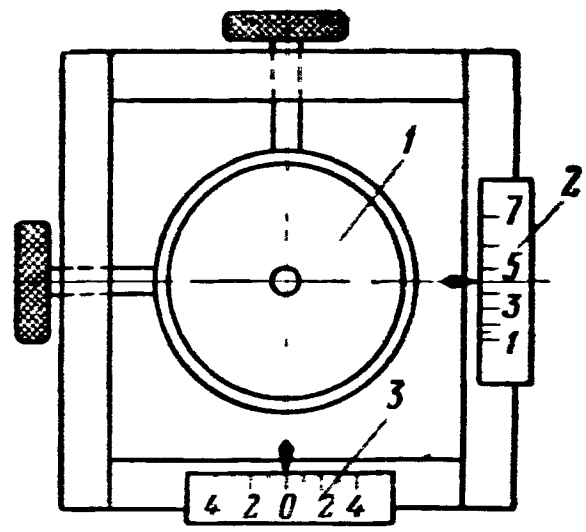


Рис. 65. Схема устройства диоптра:

1 — диоптр; *2* — шкала углов прицеливания; *3* — шкала боковых поправок

Положительные свойства диоптрического прицела следующие. Вершина мушки рассматривается в диоптр под небольшим углом зрения, благодаря чему глаз легко, без усилий совмещает ее с центром отверстия диоптра, после чего наведение оружия в цель не представляет особой трудности. Колебания вершины мушки относительно центра отверстия диоптра неизбежны, но вследствие малой величины поля зрения линейная величина их незначительна.

Кроме того, чтобы не было чрезмерного уменьшения поля зрения, диоптрический прицел монтируется на задней части ствольной коробки, почти у самого глаза стрелка, что приводит к заметному увеличению длины прицельной линии, а следовательно, и к улучшению меткости стрельбы.

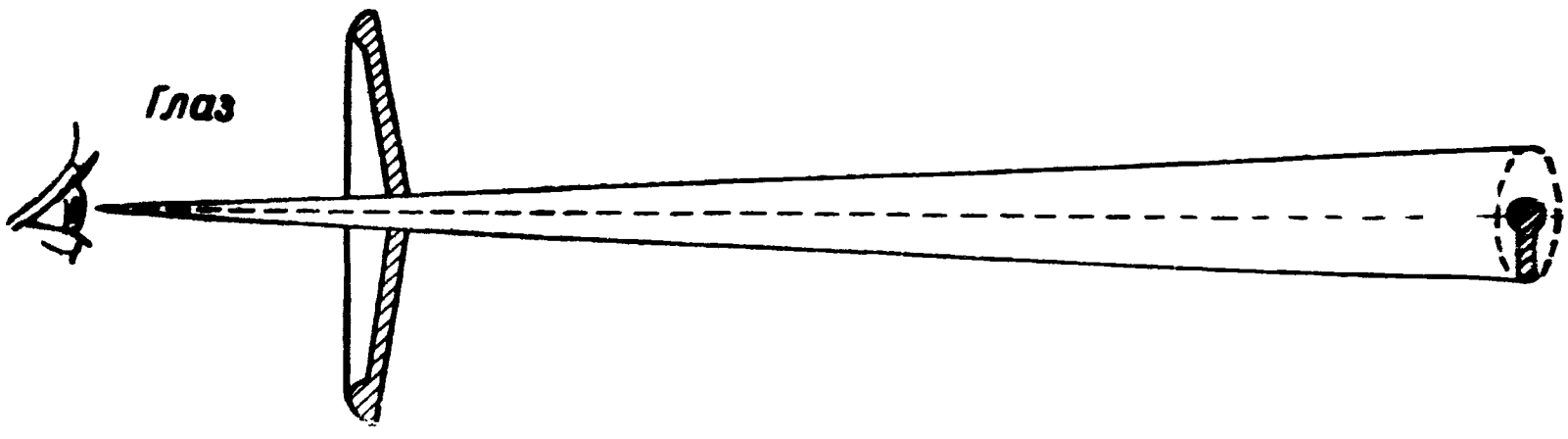


Рис. 66. Схема устройства диоптрического прицела

Однако по сравнению с открытыми диоптрические прицелы имеют и недостатки.

Малое отверстие диоптра весьма ограничивает поле зрения стреляющего, вследствие чего затрудняется отыскание целей и ведение огня по появляющимся и движущимся целям. Кроме того, прицел весьма чувствителен к засорению отверстия пылью, снегом и т. д.

Вследствие этих недостатков диоптрические прицелы не получили широкого распространения в боевом оружии, а применяются на спортивном малокалиберном оружии и 7,62-*мм* целевых винтовках. Диоптрические прицелы способствуют достижению очень высоких результатов в спортивных стрельбах.

Оптические прицелы

Оптические прицелы предназначаются для стрельбы по мелким и удаленным целям, наблюдаемым под небольшим углом зрения, а также для стрельбы в условиях ограниченной видимости.

Винтовочный оптический прицел представляет собой обычную зрительную трубу с оптической частью (рис. 67). Оптическая часть прицела состоит из объектива, оборачивающей системы и окуляра. Объектив дает перевернутое и уменьшенное изображение предмета в своей фокальной плоскости, которое исправляется оборачивающей системой. Окуляр предназначен для рассматривания в увеличенном и прямом виде изображения предмета.

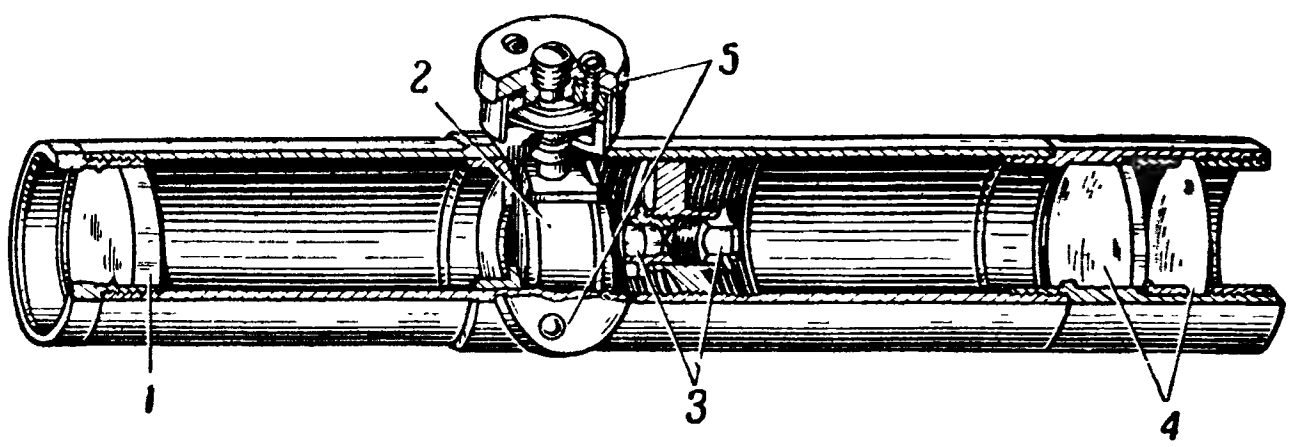


Рис. 67. Оптический прицел в разрезе:

1 — объектив; *2* — рамка с прицельными нитями (внутри оправы); *3* — оборачивающая система; *4* — окуляр; *5* — механизмы углов прицеливания и боковых поправок

В фокальной плоскости объектива помещается рамка с прицельными нитями. Для стрельбы на различные дальности, а также для учета боковых поправок на ветер и на деривацию (или движение цели) на прицеле имеются специальные механизмы, позволяющие путем перемещения прицельных нитей устанавливать подсчитанные углы прицеливания и углы боковых поправок.

В оптических прицелах изображение цели и прицельные нити находятся в одной плоскости и одновременно видны через окуляр. Стрелок при прицеливании должен только совместить острие прицельного пенька с целью. Поэтому прицеливание при помощи оптических прицелов производится быстрее, точнее и менее утомительно. Практикой установлено, что максимальная ошибка в прицеливании при помощи прицела *ПУ* находится в пределах 0,09—0,3 тысячной.

Тактико-технические данные прицела *ПУ* следующие: вес 270 *г*, длина 169 *мм*, поле зрения 4°30′, увеличение 3,5, диаметр входного зрачка 21 *мм*, диаметр выходного зрачка 6 *мм*, удаление выходного зрачка 72 *мм*.

Необходимо отметить, что удаление выходного зрачка в оптических прицелах всегда относительно велико. Это необходимо для того, чтобы предохранить глаз стрелка от ударов об окуляр вследствие отдачи оружия, а также для удобства прицеливания.

Прицел монтируется на оружии с таким расчетом, чтобы при правильной прикладке глаз стрелка был совмещен с выходным зрачком. Только в этом случае все лучи от всех точек, находящихся в поле зрения прицела, будут попадать в глаз. Несоблюдение этого требования приводит к ошибкам в прицеливании. Если глаз стрелка будет ближе или дальше выходного зрачка, то в поле зрения прицела получится круговое затемнение, которое уменьшает

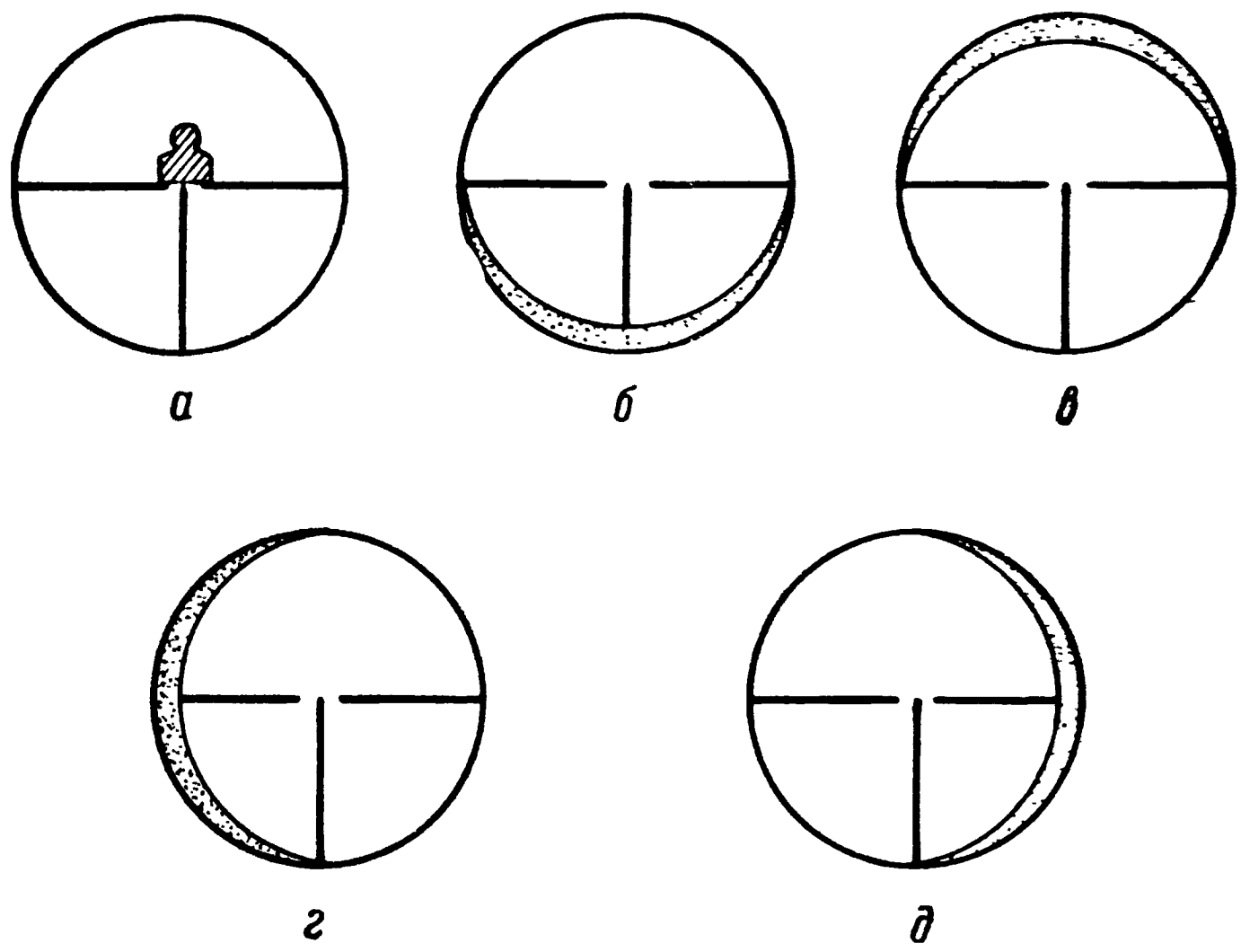


Рис. 68. Ошибки при прицеливании через оптический прицел:
а — правильное прицеливание; *б* — тень на краях окуляра внизу — средняя точка попадания отклонится вверх; *в* — тень на краях окуляра вверху — средняя точка попадания отклонится вниз; *г* — тень на краях окуляра слева — средняя точка попадания отклонится вправо; *д* — тень на краях окуляра справа — средняя точка попадания отклонится влево

поле зрения и затрудняет наблюдение и ведение огня. Если глаз окажется смещенным в сторону от оптической оси прицела, то в той стороне поля зрения прицела, куда смещен глаз, появляются лунообразные тени, при этом пули будут отклоняться в сторону, противоположную положению тени (рис. 68).

Зенитные прицелы для стрелкового оружия

Ввиду большой сложности современных зенитных прицелов подробное освещение оснований их устройства дается в специальных курсах. Мы ограничимся кратким изложением сущности решения задачи прицеливания и необходимыми пояснениями по устройству прицелов.

При стрельбе по самолетам, как и по наземным движущимся целям, огонь ведется с заранее вычисленным упреждением. Вследствие большой скорости и возможности движения цели в любом направлении в пространстве успешное ведение огня по самолетам

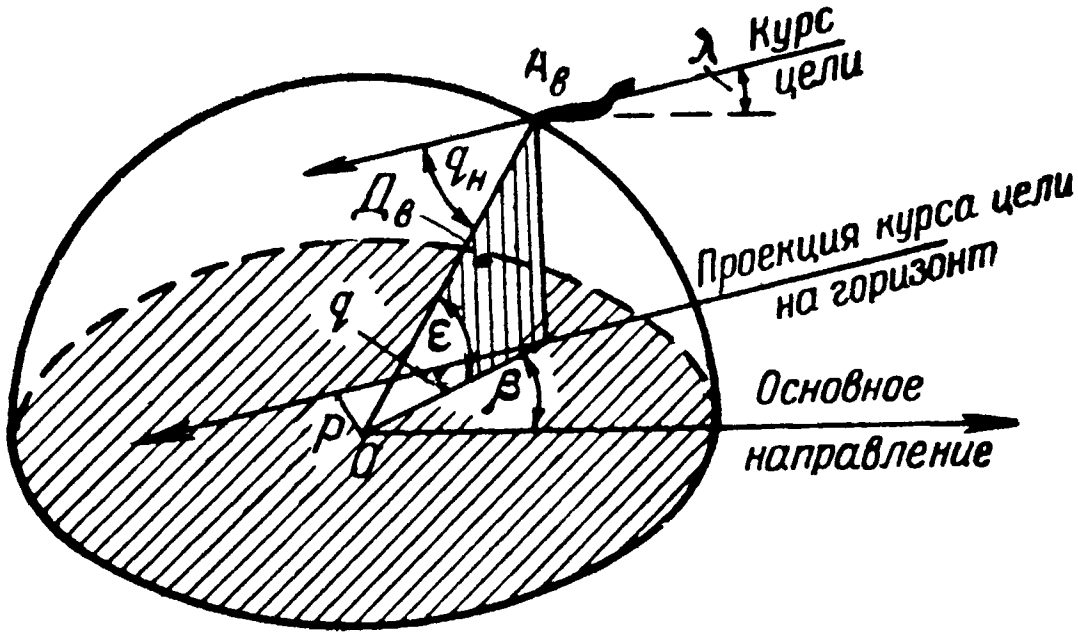


Рис. 69. Координаты ($Д_в$, ε, β) и параметры движения цели (q, λ). P — курсовой параметр

с помощью обычных прицелов стрелкового оружия затруднительно, а иногда невозможно. Поэтому с целью повышения действительности стрельбы пулеметы, главным образом крупнокалиберные, снабжаются специальными зенитными прицелами.

Современные зенитные прицелы обеспечивают после ввода входных данных нахождение в пространстве точки встречи пули с целью, т. е. решают так называемую задачу встречи.

Рассмотрим упрощенную схему решения этой задачи, для чего предварительно дадим пояснение принятым при зенитной стрельбе терминам и обозначениям.

Координаты цели. Положение точки в пространстве, в том числе и воздушной цели (принимаемой за точку), определяется тремя координатами. Если за начало координат выбрать точку стояния оружия O, то наклонная дальность до цели в данный момент $Д_в$, угол места цели ε и азимут β определяют положение цели в пространстве относительно оружия (рис. 69), т. е. эти величины будут являться координатами цели (азимут β — угол в горизонтальной плоскости между основным (ориентирным) направлением и горизонтальной дальностью). Эта система координат называется сферической.

Параметры движения цели. Величины, которые определяют скорость и направление движения цели, называются параметрами движения. При стрельбе из пулеметов обычно применяется следующая система параметров: скорость цели $v_ц$, курсовой угол q и угол наклона курса цели к горизонту (угол пикирования или кабрирования).

Курсовой угол q — угол у цели в горизонтальной плоскости между направлением на пулемет и проекцией курса цели на горизонт. Курсовой угол может рассматриваться и в наклонной плоскости ($q_н$); в этом случае он заключен между направлением на пулемет (наклонной дальностью) и курсом цели. Вместо курсового угла q иногда рассматривают курсовой параметр P, который является наименьшей дальностью от пулемета до проекции курса цели на горизонт.

Параметры движения определяются во время наблюдения за целью. Однако после выстрела они могут измениться. Предвидеть и учесть возможные изменения нельзя. Поэтому предполагают, что за время полета пули до упрежденной точки (за упредительное время) цель движется прямолинейно и равномерно либо горизонтально, либо по наклонной прямой с постоянным наклоном к горизонту.

Эти две гипотезы и лежат в основе решения задачи встречи в современных прицелах

Геометрический смысл решения задачи встречи сводится к следующему (рис. 70).

Допустим, что цель движется в направлении *MN* прямолинейно, равномерно и горизонтально по курсу, определяемому углом $q_н$, и находится в данный момент в точке $A_в$. Если направить оружие

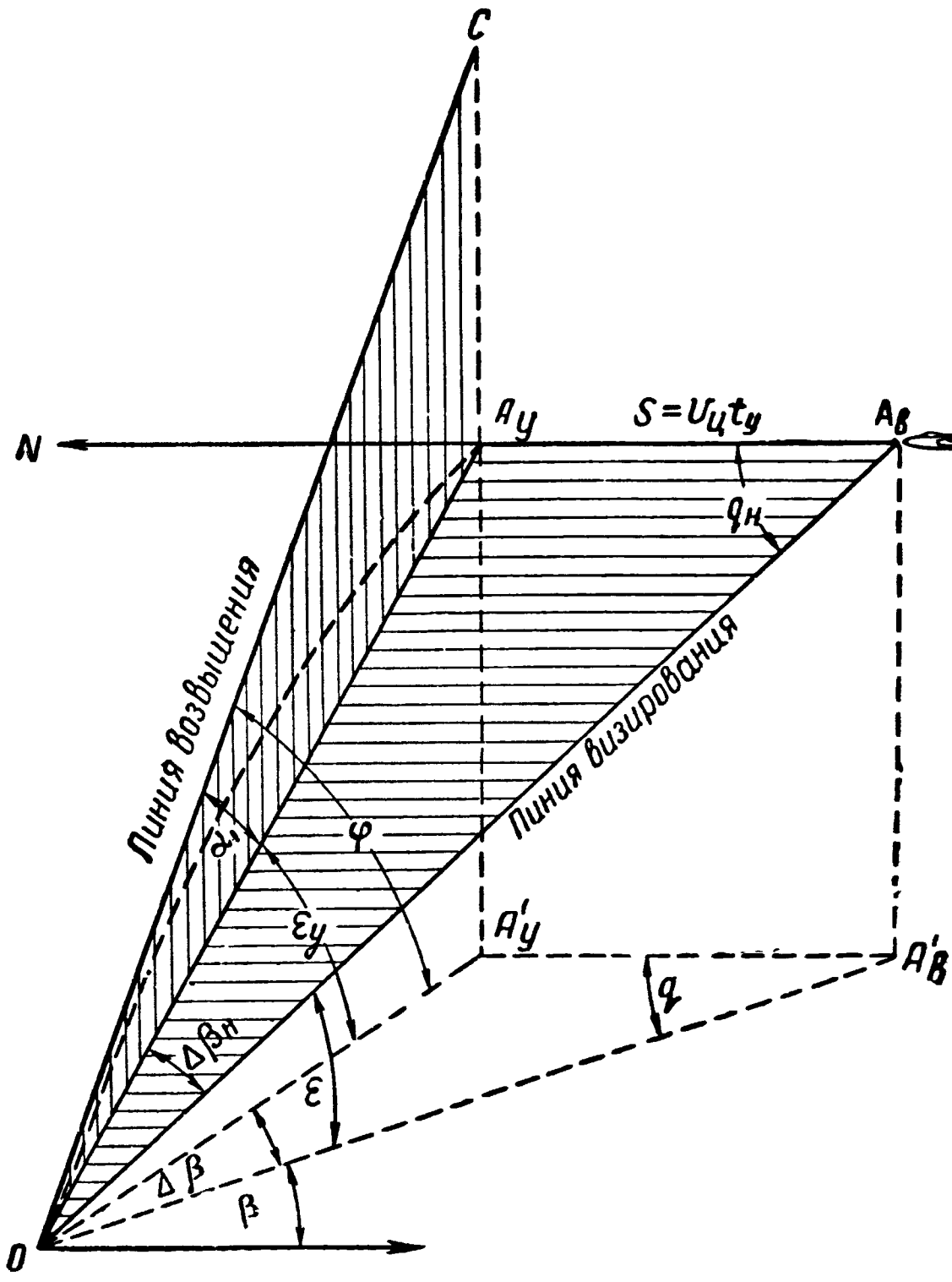


Рис. 70. Схема решения задачи встречи

в точку $A_в$ и произвести выстрел, то за время полета пули цель окажется в точке $A_у$, т. е. переместится по линии *MN* от точки $A_в$ на величину

$$s = v_ц \cdot t_у,$$

где $v_ц$ — скорость цели;

$t_у$ — время полета пули на дальность $OA_у$.

Кроме того, под действием силы тяжести пуля опустится под продолженной осью канала ствола. Следовательно, для обеспечения встречи пули с целью необходимо, чтобы в момент выстрела, когда цель находится в точке $A_в$, оружие было направлено в точку *C*,

т. е. чтобы оружию был придан угол $\beta + \Delta\beta$ в горизонтальной плоскости и угол $\varphi = \alpha_1 + \varepsilon_у$ — в вертикальной, где $\alpha_1 = \alpha_0 \cdot \cos \varepsilon_у$.

Соединив точки $A_в$, $A_у$, $A'_в$, $A'_у$ и C с точкой O, получим треугольники $OA_вA_у$, $OA'_вA'_у$ и $OA_уC$. Треугольники $OA_вA_у$ и $OA'_вA'_у$ называются **упредительными;** первый — в наклонной плоскости курса цели, второй — в горизонтальной.

Треугольник $OA_уC$ в вертикальной плоскости называется **баллистическим.**

В упредительных треугольниках:

$A_в$ — точка выстрела (положение цели в момент выстрела);

$OA_в$ — текущая наклонная дальность;

$OA'_в$ — текущая горизонтальная дальность;

$A_у$ — упрежденная точка ($A'_у$ — то же на горизонтальной плоскости);

$OA_у$ — упрежденная наклонная дальность;

$OA'_у$ — упрежденная горизонтальная дальность;

$A_вA_у$ — путь, проходимый целью за упредительное время $t_у$ ($A_вA_у = s = v_ц t_у$);

$t_у$ — упредительное время; допускается, что оно равно полетному времени пули на дальность $OA_у$;

$\Delta\beta$ — угловое упреждение (с индексом н — в наклонной плоскости курса цели — $\Delta\beta_н$);

$\varepsilon_у$ — угол места упрежденной точки $A_у$;

$OA_у$, $\varepsilon_у$, $\beta + \Delta\beta$ — координаты упрежденной точки $A_у$.

Для успешной стрельбы необходимо прежде всего с помощью прицела построить упредительный и баллистический треугольники. Задача эта своеобразная, так как для решения ее необходимо знать координаты упрежденной точки $A_у$, которые определяются величиной и направлением $s = v_ц \cdot t_у = A_вA_у$; в то же время величина $s = v_ц t_у$ сама зависит от координат упрежденной точки. Поэтому упредительный и баллистический треугольники строятся приближенно, с достаточной для практики точностью. Рассмотрим, как принципиально решаются эти треугольники ($OA_вA_у$ и $OA_уC$).

Упредительный треугольник в пространстве $OA_вA_у$ строится с помощью подобного ему так называемого треугольника упреждения $Oa_вa_у$, построенного на оружии. Построение же треугольника упреждения, отвечающего принятым условиям стрельбы, производится с помощью зенитных прицелов. Таким же способом строится и баллистический треугольник в пространстве.

В зависимости от вида оружия и принятой точности решения задачи встречи зенитные прицелы имеют различное, часто очень сложное устройство.

Наиболее простым является так называемый кольцевой раккурсный прицел. Как видно из рис. 71, прицел состоит из основания, переднего и заднего визиров. Передний визир состоит из четырех концентрических колец и втулки (центрального кольца), укрепленных на стойке. При этом стойка, а стало быть, и плоскость колец при стрельбе всегда должна быть перпендикулярна к линии визи-

рования $OA_в$. Задний визир представляет собой шарик (иногда диоптр), укрепленный на стойке, параллельной стойке переднего визира. Прицел устанавливается так, чтобы нулевая линия визирования, проходящая через шарик и центральное кольцо, находилась в плоскости стрельбы или, по крайней мере, была параллельна ей.

Принцип устройства прицела основан на том, что треугольник упреждения определяется величиной радиуса кольца ($R = a_в a_у$) переднего визира и длиной прицельной линии l, выбранных в соответствии с координатами и параметрами движения в наклонной плоскости курса цели.

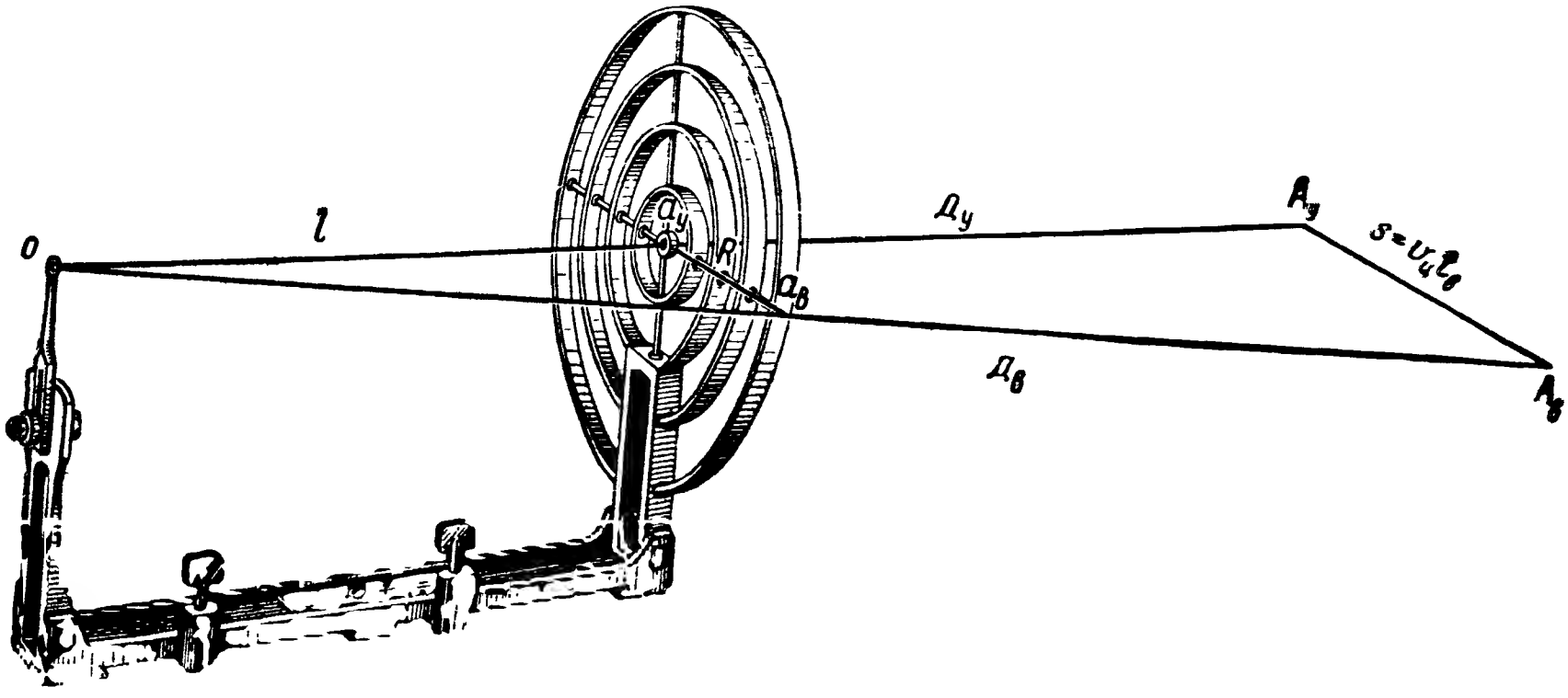


Рис. 71. Зенитный раккурсный прицел. Схема решения задачи встречи при $OA_в = OA_у$ и $t_у = t_в$

Рассмотрим, как решается треугольник упреждения в раккурсном прицеле.

Допустим, что стрельбу предполагается вести из станкового пулемета по цели, имеющей: координаты $OA_в = Д_в = 1000$ *м*, угол места цели $\varepsilon = +60°$, азимут $\beta = 0°$; параметры движения — скорость $v_ц = 600$ *км/час*, курсовой угол $q_н = 90°$ и угол пикирования $\lambda = 0°$, т. е. цель летит горизонтально.

Допустим, что за время полета пули цель движется прямолинейно и равномерно в горизонтальной плоскости. Будем считать, что времена полета пули на одинаковые наклонные дальности, независимо от высоты цели, остаются неизменными.

Для решения треугольника, как это видно из рис. 71, необходимо знать наклонную упрежденную дальность $OA_у = Д_у$ и путь, проходимый целью за время полета пули на дальность $Д_у$, равный $s = v_ц \cdot t_у$, но, как уже указывалось, эти величины взаимозависимы, поэтому точное решение невозможно.

Сделаем допущения, что дальность $OA_у = OA_в$ и время $t_у = t_в$; отсюда и путь, проходимый целью за время полета пули, принимается равным $s = v_ц \cdot t_в$, где $t_в$ — время полета пули на дальность $Д_в$.

Из подобия треугольников $OA_в A_у$ и $Oa_в a_у$ запишем пропорцию:

$$\frac{R}{v_ц t_в} = \frac{l}{OA_в},$$

откуда

$$R = l \cdot \frac{v_ц \cdot t_в}{OA_в} \text{ и } l = R \frac{OA_в}{v_ц \cdot t_в}.$$

На практике оказывается удобнее выразить дальность $OA_в$ произведением средней скорости полета пули $v_{ср}$, отвечающей этой дальности, на время полета пули на ту же дальность $OA_в = v_{ср} \cdot t_в$. Заменив $OA_в$ новым значением и сократив на $t_в$, получим так называемые расчетные формулы:

$$R = l \frac{v_ц}{v_{ср}} \text{ и } l = R \frac{v_{ср}}{v_ц}.$$

Исходя из удобств эксплуатации, выбирается масштаб построения прицела k. Так как линейная величина радиуса R пропорциональна скорости движения цели $v_ц$, то отношение $\frac{R}{v_ц} = k$ должно быть постоянным для всех колец. Поэтому $R = v_ц \cdot k$ (R — в миллиметрах, $v_ц$ — в *м/сек*).

Зададимся масштабом построения $k = 0{,}479$. Тогда скорости цели 600 *км/час* (167 *м/сек*) будет соответствовать кольцо радиуса $R = 167 \cdot 0{,}479 \approx 80$ *мм*, а скоростям $v_ц = 450$, 300 и 150 *км/час* будут соответствовать кольца радиусов $R = 60$, 40 и 20 *мм*.

Теперь определим базу прицела l, для чего сначала найдем среднюю скорость полета пули $v_{ср}$:

$$v_{ср} = \frac{OA_в}{t_в} = \frac{1000}{2{,}06} \approx 485 \text{ м/сек};$$

$$l = R \frac{v_{ср}}{v_ц} = k v_{ср} = 0{,}479 \cdot 485 \approx 232 \text{ мм}.$$

Строго говоря, длина прицельной линии l должна быть пропорциональна каждой дальности стрельбы. Однако в целях упрощения конструкции этим требованием пренебрегают и принимают длину прицельной линии l за некоторую постоянную величину.

Таким образом, в условиях нашего примера, если визировать через шарик (диоптр) и такую точку на кольце радиусом 80 *мм*, чтобы цель казалась перемещающейся к центру, то на прицеле будет построен треугольник упреждения, отвечающий принятым условиям, а с его помощью и подобный упредительный треугольник в пространстве $OA_в A_у$. Угловое упреждение при этом будет равно:

$$\Delta\beta_н = \frac{v_ц}{v_{ср}} \cdot 1000 \text{ (тыс.)}.$$

Так решается одна часть задачи встречи — учет упреждения.

Баллистический треугольник должен решаться с учетом угла места цели ε по формуле $\alpha_1 = \alpha_0 \cos\varepsilon$. Для данного примера $\alpha_0 = 55'$; $\cos 60° = 0{,}5$ и $\alpha_1 = 55 \cdot 0{,}5 \approx 27'$.

Однако во многих прицелах, даже более сложных, чем кольцевой, угол прицеливания принимается постоянным, обычно соответствующим дальности 1000 *м* при $\varepsilon = 0$.

Так решается и вторая часть задачи встречи. Угол прицеливания, принятый в прицеле, учтен разностью высот шарика (диоптра) и центрального кольца (втулки) над осью канала ствола.

Прицелы с визирами, расположенными перпендикулярно к линии визирования, удобны тем, что позволяют учитывать упреждения в процессе самой наводки при курсовых углах, не только рав-

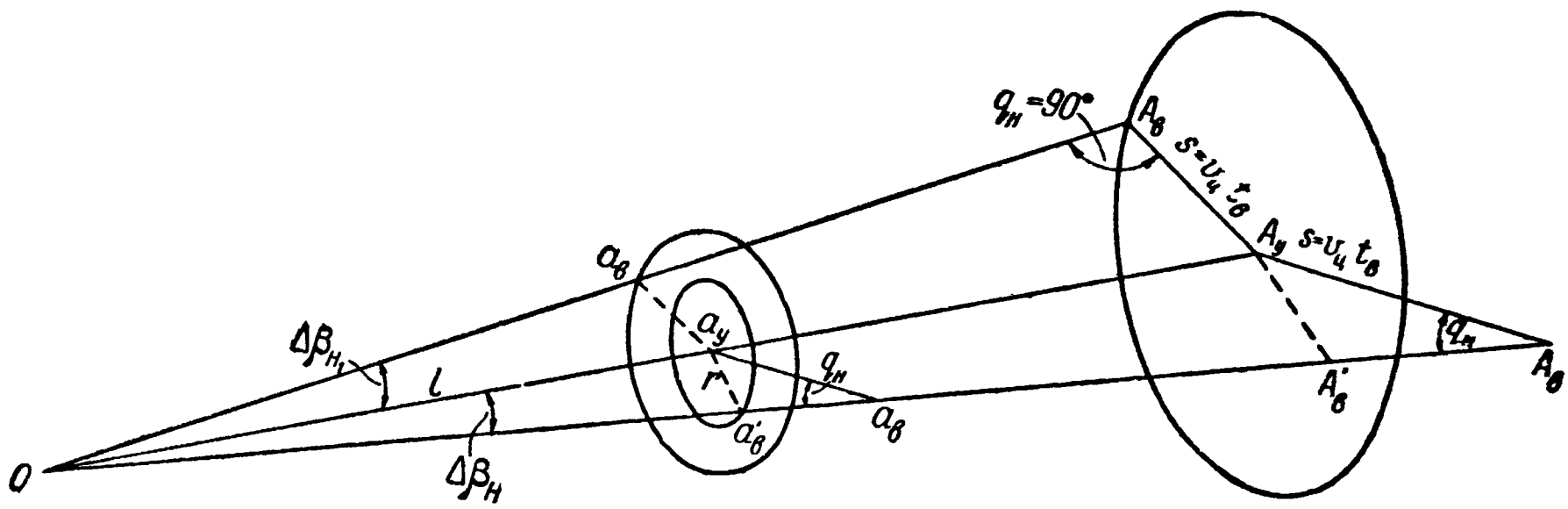


Рис. 72. Схема решения задачи встречи при расположении переднего визира перпендикулярно к линии визирования $Oa'_в$, когда курсовой угол отличается от 90°

ных 90°, но и при курсовых углах, отличных от 90°, без предварительной установки плоскости визира (колец) параллельно курсу цели.

В этих случаях рассматривают курс цели в виде проекции на так называемую картинную плоскость (плоскость, перепендикулярную к линии визирования). Если при прицеливании на соответствующем кольце будет правильно выбрана точка визирования $a_в$ (так, чтобы цель перемещалась к центру), то проекция $A'_в A_у$ будет всегда параллельна радиусу $r = a'_в a_у$ (рис. 72), т. е. треугольники $OA'_в A_у$ и $Oa'_в a_у$ будут подобны.

При курсовых углах $q_н$, отличных от 90°, но при всех прочих одинаковых условиях точка визирования $a'_в$ должна отстоять от центра визира, как это видно из треугольника $Oa'_в a_у$, на расстоянии

$$r = l \frac{v_ц}{v_{ср}} \sin q_н, \text{ или } r = R \cdot \sin q_н.$$

Так, например, если дальность до цели будет $Д_в = 1000$ *м*, скорость движения цели $v_ц = 600$ *км/час* (167 *м/сек*) и курсовой угол $q_н = 50°$, то

$$r = l \frac{v_ц}{v_{ср}} \cdot \sin q_н = 0{,}232 \cdot \frac{167}{485} \cdot 0{,}766 \approx 61 \text{ мм}.$$

В данных условиях точку визирования надо выбирать уже на кольце $R = 60$ *мм*. Если же курсовой угол будет равен 60°, то $r = 69$ *мм* и точка визирования должна быть выбрана в промежутке между кольцами $R = 80$ *мм* и $R = 60$ *мм*.

Поскольку база прицела l (длина прицельной линии) будет, как правило, величиной постоянной, радиус кольца зависит от скорости, курса цели и дальности до нее. Поэтому эти данные и будут являться входными. По входным данным, пользуясь специальной таблицей, определяют упреждение (для кольцевых прицелов — номер кольца), которое и учитывается в процессе прицеливания.

Скорость цели определяется обычно по типу самолета, а дальность и курсовой угол — на глаз. На практике оказывается возможным определять $\sin q_н$ по отношению длины фюзеляжа самолета, видимой наблюдателем, к его истинной длине, т. е. по раккурсу самолета [1]. Поэтому курс цели учитывается в прицеле раккурсом цели. В качестве входных данных принимают раккурсы: $^1/_4$ (15°—165°) и $^1/_2$ или $^2/_4$ (30°—150°), $^3/_4$ (50°—130°) и $^4/_4$ (90°). Отсюда и название прицелов — раккурсные. К ним относятся также и оптические визиры — коллиматоры с одним или несколькими сменными раккурсными кольцами, а также более сложные прицелы.

Существенным недостатком кольцевых прицелов, кроме того, что они не вырабатывают упрежденной дальности, является то, что, выполняя прицеливание, наводчик не имеет фиксированной визирной точки ни на самом кольце, ни в интервале между кольцами; он должен выбирать какую-то воображаемую точку. Это приводит к большим ошибкам в прицеливании. Кроме того, требуется много времени для обучения наводчика.

В настоящее время применяются автоматические зенитные прицелы, не имеющие указанных выше недостатков. Имея сложную конструктивную схему, эти прицелы, однако, в принципе производят те же построения упредительного и баллистического треугольников, которые решаются раккурсными прицелами.

Минометные прицелы

Для ведения огня артиллерией и минометами с закрытых позиций применяются более совершенные прицелы, позволяющие осуществлять непрямую наводку.

Сущность непрямой наводки заключается в том, что по подсчитанным значениям угла наводки $\beta_н$ и угла возвышения φ с помощью прицела придают оружию требуемое положение в пространстве (рис. 73).

Угол наводки $\beta_н$ состоит из двух углов: β_1, представляющего обычно угловые поправки на ветер и деривацию (для нарезных ору-

---

[1] Нетрудно видеть, что раккурс цели численно равен $\sin q_н$, если в треугольнике $A_в A'_в A_у$ (рис. 72) сторону s принять за истинную, а сторону $A'_в A_у$ — за видимую наблюдателем длину фюзеляжа, ибо $\frac{A'_в A_у}{s} = \sin q_н$.

дий), и β_2, являющегося угловой величиной, показывающей положение цели относительно точки наводки *Тн*. Угол возвышения φ должен устанавливаться в вертикальной плоскости, поэтому на прицелах обычно ставится поперечный уровень. Точка наводки может находиться на различном расстоянии и на разном уровне относительно цели; этим вызывается необходимость устройства специальных приспособлений, позволяющих отклонять линию наводки в горизонтальной плоскости на возможную величину углов $\beta_н$ и в вертикальной — на величину углов места точки наводки ε_2.

Для горизонтальной наводки прицелы имеют угломер. Угломеры минометных прицелов могут быть различными по конструкции, но сущность устройства их одинакова. Они

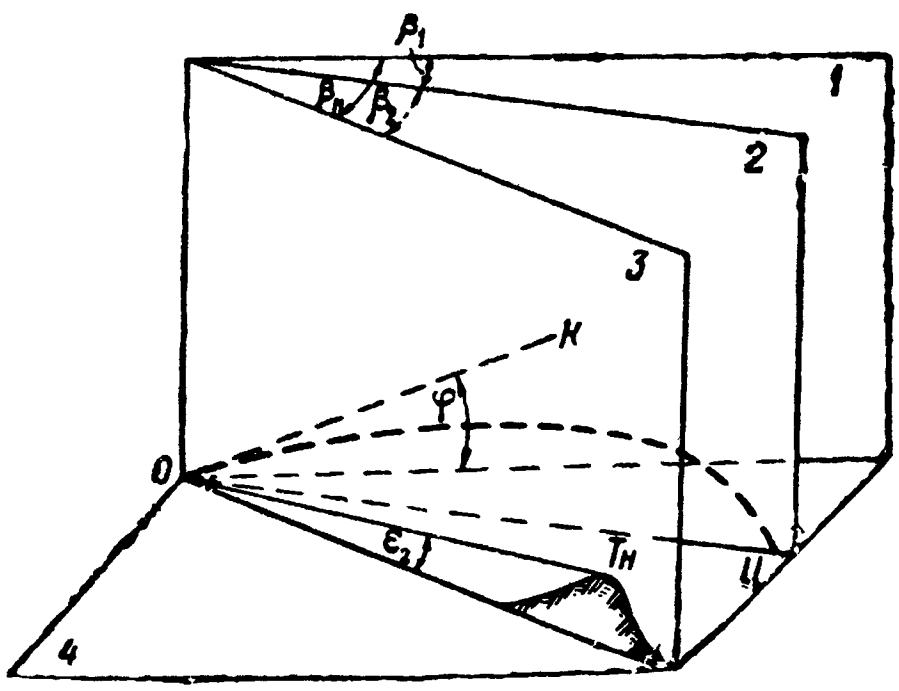


Рис. 73. Сущность непрямой наводки:
1 — плоскость стрельбы; *2* — плоскость цели; *3* — плоскость наводки; *4* — горизонт оружия; *ОТн* — линия наводки; ε_2 — угол места точки наводки

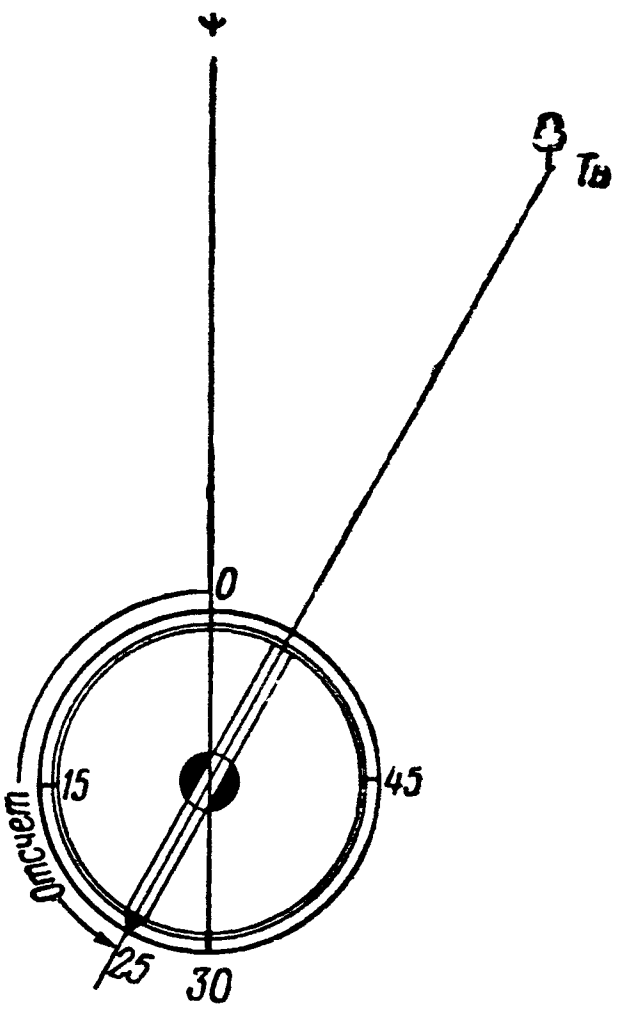


Рис. 74. Построение боковых углов с помощью угломера

представляют собой круг, разделенный на 60 делений. Цена деления равна 1-00. С помощью дополнительного устройства точность установки углов доводится до 0-01. Угломер устанавливается на миномете так, чтобы линия 30-00 была параллельной оси канала ствола. При этом нулевое деление шкалы направлено в сторону цели, а деление «30» — к себе (в сторону, противоположную цели).

Построение углов с помощью угломера производится следующим образом. Допустим, что требуется построить угол, равный 25-00. Для этого необходимо установить указатель на деление «25» и с помощью поворотного механизма совместить линию визирования с точкой наводки *Тн*. При установке угломера «25» луч зрения наводчика будет направлен вправо и вперед (рис. 74).

Применение угломера чрезвычайно облегчает задачу прицеливания, так как позволяет выбирать точку наводки в пределах почти 360°. Кроме того, точка наводки может находиться на любом удалении от миномета и на различном уровне.

Минометные прицелы имеют специальные механизмы углов воз-

вышения. Механизм углов возвышения прицела состоит из вращающегося сектора со шкалой и укрепленного на нем (или на корпусе) продольного уровня. Точность установки углов возвышения обычно равна 0-01. Роль прицельной (направляющей) линии выполняет ось уровня.

Вследствие того что стрельба из миномета производится на различных зарядах, дистанционная шкала не может быть нанесена с ценой делений в метрах (число шкал доходило бы до 4). На сектор наносится так называемая угловая шкала, или шкала тысяч-

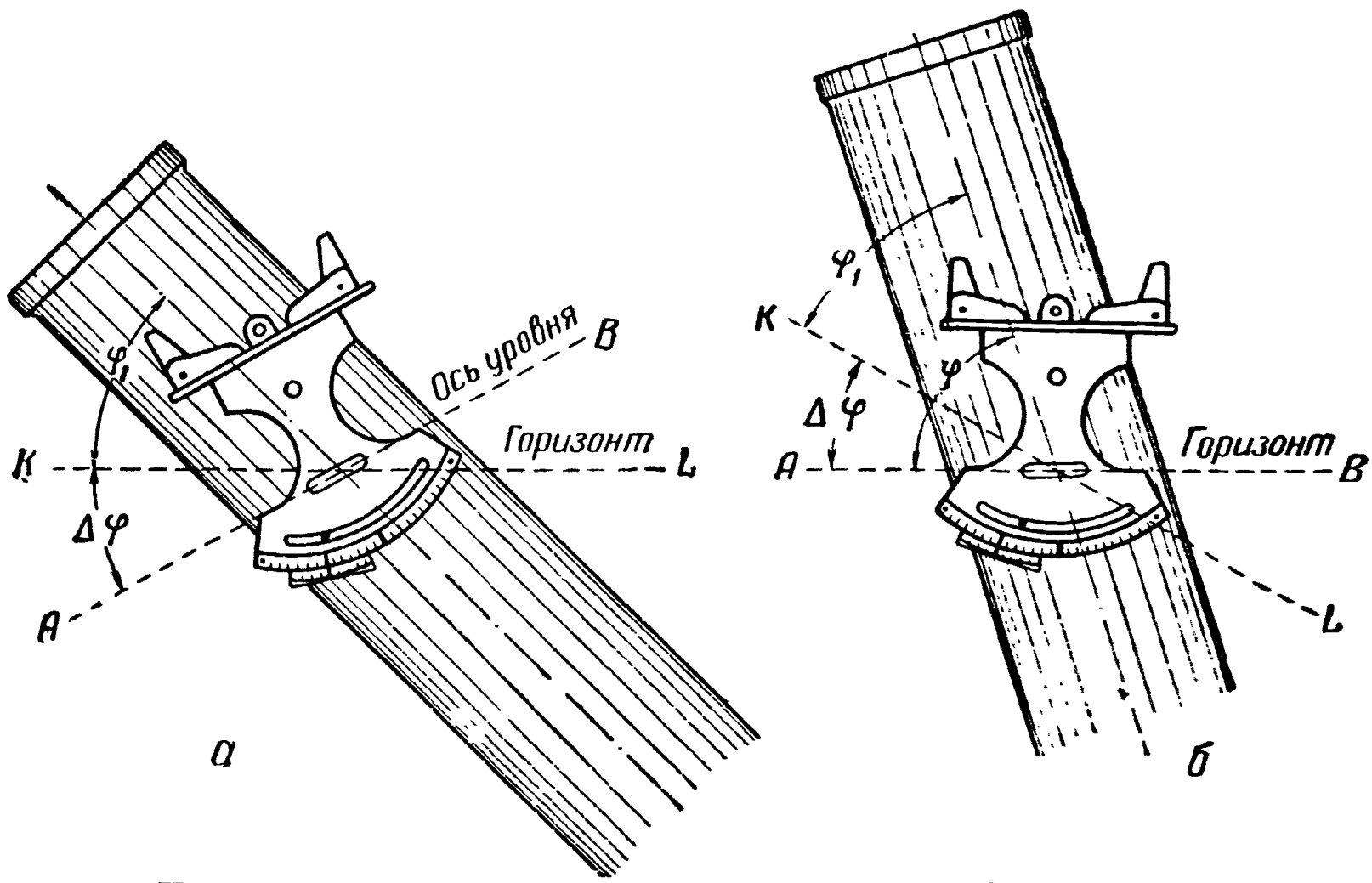


Рис. 75. Придание оси канала ствола миномета необходимого угла возвышения:

а — установка прицела; *б* — вертикальная наводка

ных. Основное преимущество угловой шкалы заключается в том, что она является приемлемой для любого заряда. Некоторое неудобство представляет то обстоятельство, что выбор прицела на угловой шкале невозможен без таблиц стрельбы.

Минометы — оружие навесного огня: с увеличением угла возвышения горизонтальная дальность уменьшается и с уменьшением угла возвышения — увеличивается; угол наибольшей дальности примерно равен 45°. Это свойство минометов необходимо иметь в виду при рассмотрении устройства прицелов.

Установка прицела соответственно дальности стрельбы выполняется поворотом сектора вокруг его оси на некоторый угол $\Delta\varphi$ (рис. 75) [1], являющийся приращением к исходному углу возвышения $\varphi_1=45°$.

При помощи подъемного механизма пузырек уровня выводят на середину, в результате чего производится суммирование углов φ_1 и $\Delta\varphi$ относительно горизонта (см. рис. 75, *б*).

---

[1] Для лучшей наглядности на рисунке показан прицел старой конструкции.

По окончании наводки оси канала ствола будет придан угол возвышения $\varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi$, отвечающий требуемой дальности стрельбы. При необходимости поправка на угол места цели вводится непосредственно в прицел в процессе подготовки данных.

Шкала углов возвышения рассчитана так, что наименьшему углу возвышения $\varphi = 45°$ соответствует наибольшее деление прицела (10-00).

Чтобы сохранить общий принцип построения шкал и таблиц стрельбы (меньшей дальности должен соответствовать меньший прицел), необходимо из исходной установки прицела 10-00 вычитать приращение $\Delta\varphi$ в тысячных. Таким образом, прицел, отвечающий требуемой дальности, будет равен 10-00 — $\Delta\varphi$ (тыс.).

Подтвердим сказанное примером.

Пример. Для получения дальности 1500 *м* при $v_0 = 175$ *м/сек* необходимо придать миномету угол возвышения $\varphi = 69°44'$ (получен расчетом) Определить установку прицела.

Р е ш е н и е. Рассматривая угол возвышения $\varphi = 69°44'$ как сумму исходного угла $\varphi_1 = 45°$ и приращения $\Delta\varphi$, найдем приращение $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi = 69°44' - 45°00 = 24°44', \text{ или } 4\text{-}12.$$

Установка прицела будет:

$$1000 - 412 = 588, \text{ или } 5\text{-}88.$$

Вычитание угла $\Delta\varphi$ из постоянной (исходной) установки 10-00 производится автоматически при установке прицела благодаря тому, что шкала оцифрована против хода часовой стрелки.

В настоящее время применяются следующие минометные прицелы: оптический минометный прицел МПМ-44, коллиматорные прицелы МП-41 и МП-42 и прицел МПБ-82. Несмотря на некоторые различия в устройстве, принцип работы с ними один и тот же.

Таким образом, задача прицеливания минометными прицелами решается с помощью двух направляющих линий: горизонтальная наводка — с помощью оптической оси прицела (линии 30-00), вертикальная наводка — с помощью оси продольного уровня.

ГЛАВА VI

ФОРМА ТРАЕКТОРИИ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ОБ ОТЛОГОСТИ ТРАЕКТОРИИ

При стрельбе на одну и ту же дальность траектории пуль, имеющих различные баллистические характеристики (например, начальную скорость), имеют различную форму.

В стрелковой практике часто приходится сравнивать траектории пуль, выпущенных из нескольких образцов оружия при стрельбе на одну и ту же дальность или из оружия одного и того же образца на различные дальности. В этих случаях форма траектории характеризуется величиной превышений ее над линией прицеливания. Траектория, менее поднимающаяся над линией прицеливания, называется более отлогой, или более настильной. Кроме того, о настильности траектории можно судить по величине угла падения. Траектория тем более настильна, чем меньше угол падения.

Сравним для примера превышения траекторий при стрельбе из ротного пулемета и автомата на одинаковую дальность (табл. 8).

Таблица 8

Оружие	Начальная скорость, *м/сек*	Прицел	Расстояние, *м*					
			50	100	150	200	250	300
			Превышение траектории над линией прицеливания, *см*					
Ротный пулемет	840	3	7	15	19	18	13	0
Автомат	710	3	14	28	33	31	21	0

Из таблицы видно, что траектория пули при стрельбе из пулемета более отлога (более настильна), чем траектория пули при стрельбе из автомата.

Степень отлогости траектории зависит от дальности стрельбы и от баллистических свойств пули. С увеличением дальности стрельбы

(для оружия настильного огня) превышения траектории возрастают — траектория становится менее настильной.

Форма траектории оказывает значительное влияние на действительность стрельбы.

2. ПРИЦЕЛЬНОЕ ПОРАЖАЕМОЕ ПРОСТРАНСТВО И ПРЯМОЙ ВЫСТРЕЛ

Меткость стрельбы зависит от многих факторов, в том числе и от того, насколько высота прицела соответствует истинному расстоянию до цели. Однако в некоторых случаях, благодаря настильности траектории, ошибки в измерении расстояния не оказывают практического влияния на результат стрельбы.

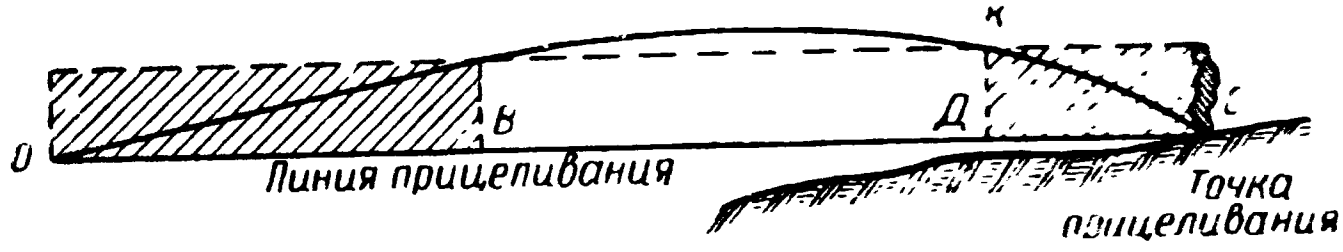


Рис. 76. Прицельное поражаемое пространство

Представим себе, что стрелок ведет огонь с одним и тем же прицелом по целям одной и той же высоты, расположенным на различных дальностях, не изменяя точки прицеливания. Нетрудно видеть (рис. 76), что при этом на участках *СД* и *ВО* цель может быть поражена, т. е. она будет находиться в пределах **поражаемого пространства.**

Обычно поражаемое пространство рассматривают только у точки падения и, кроме того, не все элементы его, а только глубину.

Поэтому можно дать следующее определение глубины прицельного поражаемого пространства: расстояние по линии прицеливания, на протяжении которого нисходящая ветвь траектории не превышает высоты цели, называется **глубиной прицельного поражаемого пространства** (*Ппп*).

Глубина прицельного поражаемого пространства (*Ппп*) зависит от высоты цели и настильности траектории. При одних и тех же условиях стрельбы прицельное поражаемое пространство будет тем больше, чем больше высота цели и чем настильнее траектория (рис. 77).

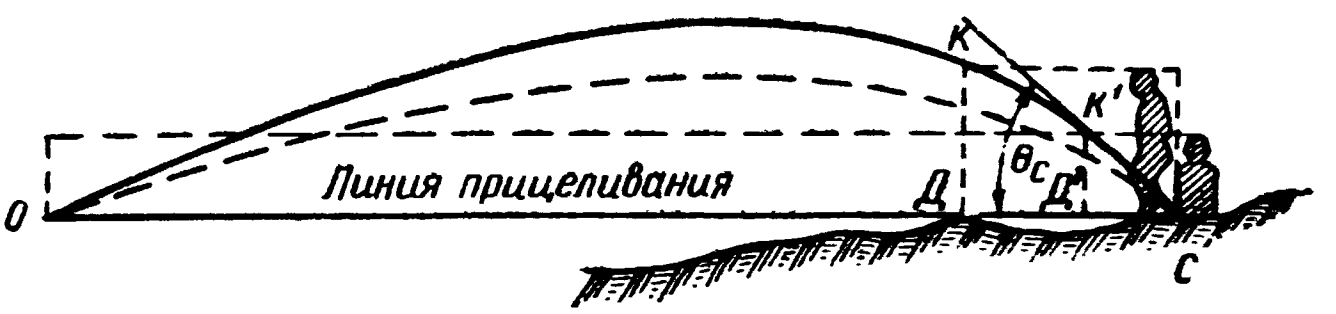


Рис. 77. Зависимость глубины прицельного поражаемого пространства от высоты цели и настильности траектории

Глубину прицельного поражаемого пространства можно определить следующими способами.

а) **По таблицам превышений.** Глубина прицельного поражаемого пространства при стрельбе по отдельной цели определяется путем сравнения превышений нисходящей ветви траектории с высотой цели.

Пример. Стрельба ведется из ротного пулемета по грудной фигуре (высота цели 0,5 *м*) на дальность 600 *м*. Определить глубину прицельного поражаемого пространства.

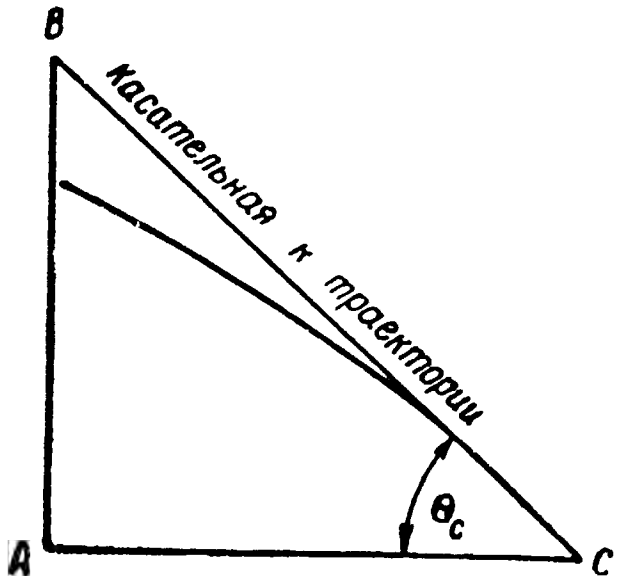


Рис. 78. Определение глубины прицельного поражаемого пространства

Р е ш е н и е. По таблице превышения траекторий находим, что при стрельбе с прицелом 6 превышение траектории на дальности 500 *м* равно 0,8 *м*. Следовательно, глубина прицельного поражаемого пространства будет меньше 100 *м* во столько раз, во сколько 0,5 *м* меньше 0,8 *м* [1].

Составим пропорцию:

$$\frac{Ппп}{100} = \frac{0{,}5}{0{,}8};\ Ппп = \frac{0{,}5 \cdot 100}{0{,}8} = 62{,}5\ м.$$

б) **По углу падения или коэффициенту поражаемого пространства.** В тех случаях, когда высота цели меньше $^1/_3$ высоты траектории при данном прицеле, глубину прицельного поражаемого пространства можно определить по величине угла падения или по коэффициенту поражаемого пространства. При этом угол падения рассматривается относительно линии прицеливания (или линии цели). На основании начала «жесткости» траектории величина угла падения, отвечающего определенной наклонной дальности, приближенно равна табличному углу падения при соответствующей полной горизонтальной дальности, если угол места цели не превышает $\pm 15°$.

Если часть нисходящей ветви траектории принять за прямую линию *BC* (рис. 78), то глубину прицельного поражаемого пространства *AC* (*Ппп*) можно определить по формуле тысячной (33):

$$AC = \frac{AB \cdot 1000}{\theta_c}$$

или

$$Ппп = \frac{Вц \cdot 1000}{\theta_c}, \qquad (39)$$

где *Вц* — высота цели в метрах;
θ_c — угол падения в тысячных.

Пример. Стрельба ведется из ротного пулемета на дальность 700 *м* по цели высотой 0,5 *м*. Определить *Ппп*.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим $\theta_c = 0\text{-}14$. Подставляя известные значения в формулу (39), получим:

$$Ппп = \frac{Вц \cdot 1000}{\theta_c} = \frac{0{,}5 \cdot 1000}{14} \approx 36\ м.$$

---

[1] Конец траектории на участке 500—600 *м* принимается за прямую.

Для упрощения вычислений пользуются специальной таблицей коэффициентов поражаемого пространства. Коэффициент поражаемого пространства K — число отвлеченное, полученное от деления 1000 на угол падения θ_c, соответствующий определенной дальности [1]:

$$K = \frac{1000}{\theta_c}.$$

Коэффициенты поражаемого пространства приведены в таблицах стрельбы.

Глубину прицельного поражаемого пространства можно определить по формуле [2]:

$$Ппп = Вц \cdot K. \qquad (40)$$

Пример. Стрельба ведется из ручного пулемета на дальность 600 *м* по грудной фигуре. Определить *Ппп*.

Решение. По таблицам стрельбы находим $K = 56$; высота цели $Вц = 0{,}5$ *м*.

$$Ппп = Вц \cdot K; \quad Ппп = 0{,}5 \cdot 56 = 28 \text{ м}.$$

В тех случаях, когда самая высшая точка траектории (вершина) не поднимается выше цели данной высоты, криволинейность траектории не оказывает существенного влияния на возможный результат стрельбы, т. е. при данных условиях получается как бы прямой выстрел. Выстрел, при котором траектория не поднимается над линией прицеливания выше цели на всем протяжении прицельной дальности, называется прямым, а получаемая при этом наибольшая дальность называется **дальностью прямого выстрела** (рис. 79).

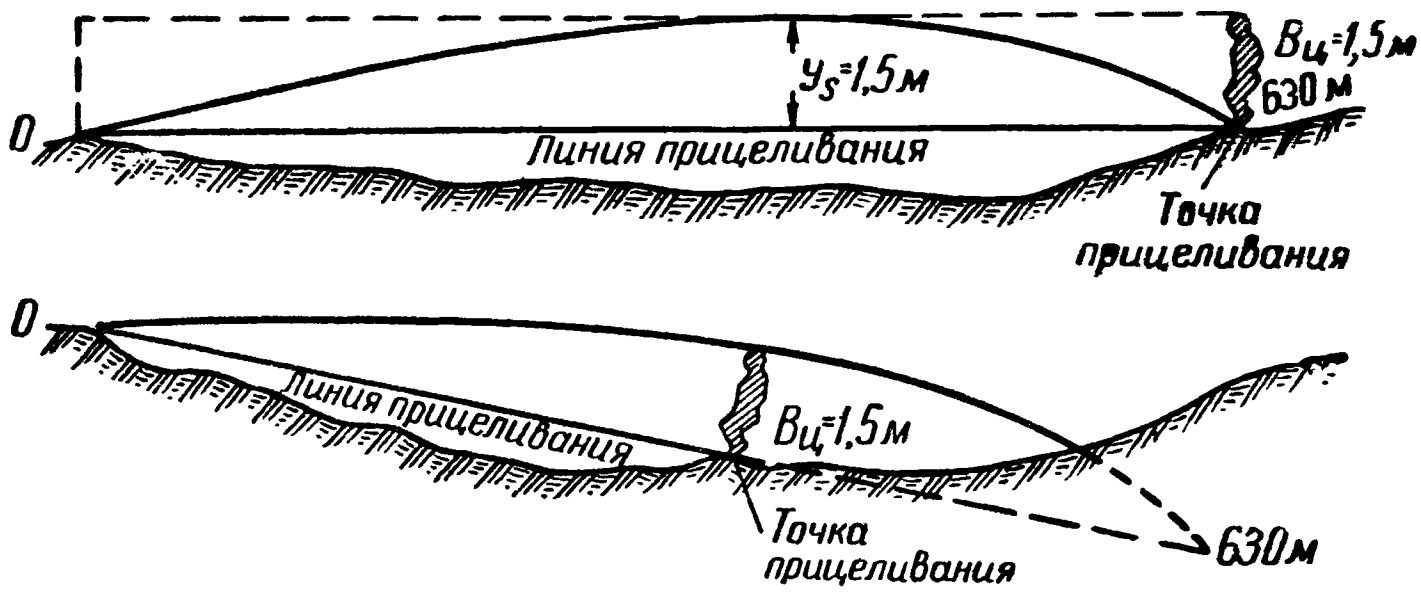


Рис. 79. Дальность прямого выстрела из ротного пулемета по бегущей цели

При стрельбе из одного и того же оружия дальность прямого выстрела рассматривается относительно каждой цели, в зависимости от ее высоты, при этом чем больше высота цели, тем больше дальность прямого выстрела.

---

[1] Коэффициент поражаемого пространства можно иначе представить как глубину поражаемого пространства для цели высотой 1 *м*.

[2] Величина поражаемого пространства всегда получится меньше истинной вследствие того, что линия *ВС* (см. рис. 78) будет проходить выше траектории.

При стрельбе из различных образцов оружия по одной и той же цели дальность прямого выстрела получается тем больше, чем настильнее траектория, чем, следовательно, лучше баллистические качества оружия и патронов. Поэтому дальность прямого выстрела по какой-нибудь цели (обычно принята грудная фигура высотой 50 *см*) является важной характеристикой боевых свойств оружия и, как правило, указывается в соответствующих наставлениях.

Приближенно дальность прямого выстрела можно определить по таблицам стрельбы. Для этого нужно сравнить высоту цели с наибольшим превышением траектории над линией прицеливания (высотой траектории) при стрельбе с данным прицелом. Если высота цели окажется равной высоте траектории или больше ее, то, следовательно, дальность прямого выстрела будет равна или больше прицельной дальности.

Пример. Определить дальность прямого выстрела из ручного пулемета по цели высотой 1,5 *м* (бегущая фигура).

Решение. По таблицам стрельбы находим, что высота траектории при стрельбе с прицелом 5 равна 1,2 *м*, а с прицелом 6 равна 2 *м*. Следовательно, дальность прямого выстрела по этой цели будет меньше 600 *м* и больше 500 *м*. Интерполированием находим, что высота траектории при стрельбе на дальность 550 *м* равна 1,6 *м*. Поэтому заключаем, что дальность прямого выстрела будет около 550 *м* (прицел 5,5).

Сравнение различных образцов оружия (автоматов, пулеметов и др.) по настильности их траекторий на малых расстояниях (до 400 *м*) принято производить по дальности прямого выстрела для одной и той же цели. Чем больше дальность прямого выстрела, тем траектория более настильна, а значит, баллистические качества оружия лучше.

Знание и использование дальности прямого выстрела в боевой обстановке освобождают стрелка от необходимости переставлять прицел под огнем противника на близких расстояниях от него, что особенно важно при отражении контратак.

Наиболее действительные виды пулеметного огня обычно применяются с учетом дальности прямого выстрела.

Так, например, при организации системы огня в обороне кинжальный огонь рассчитывается на дальность прямого выстрела по лежащей фигуре (до 300 *м*), фланговый огонь — по перебегающей цели (до 600 *м*). При расположении пулеметов на флангах подразделений получается перекрестный огонь, что в сочетании с фронтальным огнем из автоматов создает зону сплошного огня из стрелкового оружия на дальность прямого выстрела по грудным фигурам (до 400 *м*).

При выборе прицела и точки прицеливания обычно стремятся как можно точнее совместить среднюю точку попадания с центром цели, чтобы вероятность попадания была наибольшая. Если точкой прицеливания является середина нижнего края цели, то прицел обычно устанавливают с таким расчетом, чтобы пуля прошла через центр цели или через наиболее широкую ее часть.

Например, стрельба ведется из ротного пулемета по поясной фигуре (высота цели 1 *м*) на расстоянии 400 *м*. С каким прицелом следует вести огонь?

Можно вести огонь с прицелом 5, прицеливаясь под цель, так как превышение траектории над линией прицеливания на расстоянии 400 *м* будет равно 0,5 *м*, т. е. половине высоты цели.

В этом случае, как видно из таблиц стрельбы, поражаемое пространство для данной цели будет на всем протяжении прицельной дальности, т. е. 500 *м*. Поэтому возможные ошибки в измерении расстояния почти никакого влияния на результат стрельбы не окажут. Кроме того, прицеливание в середину нижнего края цели выполняется легче и с большей точностью. Практика показывает, что при стрельбе на дальность до 400 *м* по целям, имеющим относительно широкое основание, следует прицеливаться в середину нижнего края цели с прицелом, обеспечивающим прохождение средней траектории через центр.

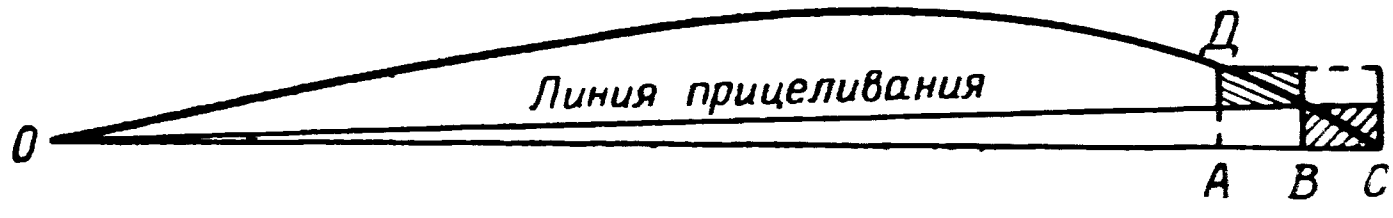


Рис. 80. *АВ* и *ВС* — глубина поражаемого пространства для половины высоты цели

При стрельбе по высоким и хорошо видимым целям точкой прицеливания может быть и центр цели; тогда установка прицела должна соответствовать расстоянию до цели, так как превышение траектории у цели будет равно нулю.

Однако и в этих случаях цель может быть поражена, если ошибка в определении расстояния в бо́льшую и меньшую сторону не превышает глубины поражаемого пространства (*АВ* и *ВС*), соответствующей верхней и нижней половинам высоты цели (рис. 80).

Пример. Стрельбу ведут из ручного пулемета с прицелом 5, прицеливаясь в центр бегущей фигуры ($Вц = 1{,}5$ *м*), находящейся на расстоянии 500 *м*. Определить глубину прицельного поражаемого пространства для верхней половины высоты цели (0,75 *м*).

Р е ш е н и е. По таблице превышения траекторий находим, что при стрельбе с прицелом 5 глубина поражаемого пространства для верхней половины цели составляет 88 *м*. Если при измерении расстояния была допущена ошибка и цель оказалась ближе (на дальности 412 *м*) или быстро движется на стрелка, то и в этом случае она может быть поражена без перестановки прицела и изменения точки прицеливания.

Цель может быть поражена с прицелом 5 также и в том случае, если фактическое расстояние до нее окажется 550 *м*, что видно из следующего расчета. При прицеливании в центр цели угол возвышения будет равен 8,7 тыс. (угол прицеливания $\alpha = 7{,}2$ тыс. и угол места точки прицеливания

$$\varepsilon' = \frac{0{,}75 \cdot 1000}{500} = 1{,}5 \text{ тыс.}).$$

По таблицам стрельбы находим, что при угле возвышения, равном 8,7 тыс., полная горизонтальная дальность составит около 550 *м*.

Несмотря на то, что при таких условиях стрельбы возможные ошибки в измерении расстояний в бóльшую и меньшую сторону до некоторой степени покрываются величиной поражаемого пространства, прицеливаться в центр цели, особенно на дальности свыше 500 *м*, значительно труднее, чем в середину нижнего края. Причина этого заключается, с одной стороны, в том, что стрелок (пулеметчик) плохо видит темную мушку, проектирующуюся на темном фоне цели, а с другой — в том, что видимая угловая величина мушки (около 2 тыс.) оказывается значительно шире цели (в 2 раза и более), что также затрудняет выбор точки прицеливания.

Поэтому при стрельбе на дальность свыше 500 *м* по любым живым целям точку прицеливания выбирают в середине нижнего края цели; прицел же устанавливают соответственно дальности до цели, ибо выбрать высоту прицела, при котором средняя траектория проходила бы через центр цели, вследствие изменения степени отлогости траектории, нельзя. Однако и в этих случаях цели, как правило, будут находиться в пределах прицельного поражаемого пространства и при ошибках в измерении дальности в меньшую сторону, потому что установка прицела обычно определяется с округлением в бóльшую сторону.

С увеличением дальности стрельбы величина ошибок при измерении расстояния увеличивается, а глубина поражаемого пространства уменьшается, поэтому и влияние поражаемого пространства на результат стрельбы будет меньше.

3. ПОРАЖАЕМОЕ ПРОСТРАНСТВО ПО МЕСТНОСТИ

Степень поражения, наносимого противнику от оружия настильного огня, во многом зависит от местности, на которой ведется стрельба.

При стрельбе по глубокой цели, а также по одиночной цели, передвигающейся по местности, средняя траектория, в зависимости от рельефа местности, проходит через цель или выше нее (рис. 81).

Протяжение местности, на котором траектория не поднимается выше цели, называется **глубиной поражаемого пространства по местности** (*Ппм*).

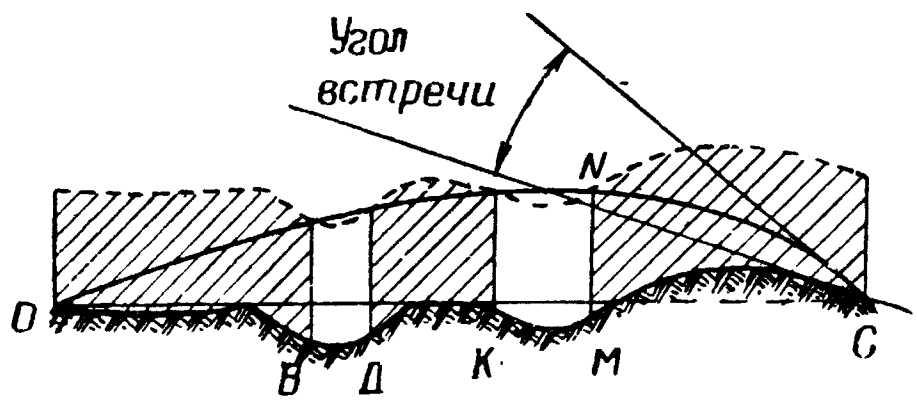


Рис. 81. Поражаемое пространство по местности

Из рис. 81 видно, что участки местности *ОВ*, *ДК* и *МС* являются поражаемым пространством для цели высотой *MN*. Из рисунка видно также, что глубина поражаемого пространства по местности зависит от высоты цели, характера рельефа местности в районе рас-

положения цели и в точке встречи пули с землей, или, иначе говоря, от высоты цели и угла встречи.

В точке падения необходимо учитывать рельеф местности. Точка пересечения траектории с поверхностью цели (земли, преграды) называется **точкой встречи** *П* (рис. 82).

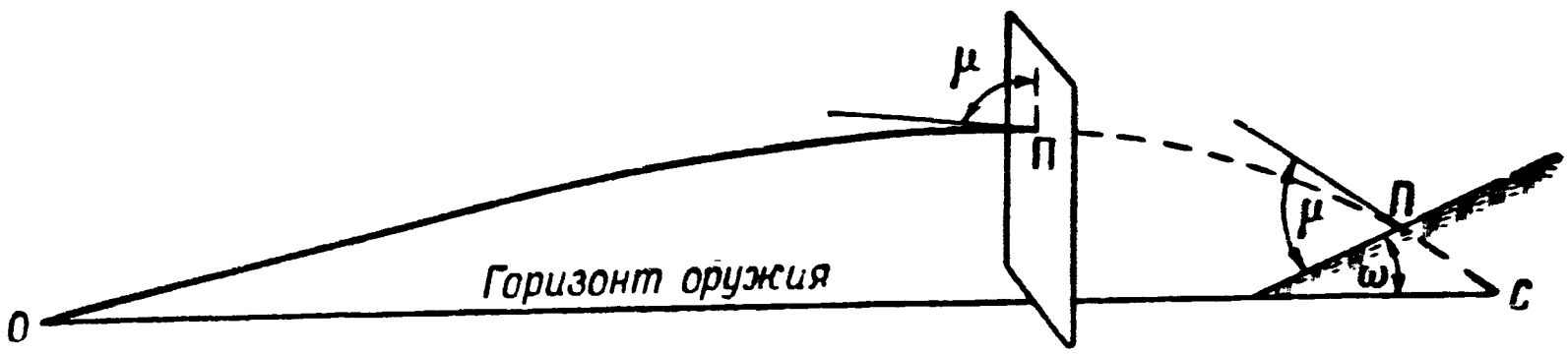


Рис. 82. Точка встречи *П*, угол встречи μ при встрече пули с преградой и с землей, угол ската ω

Расстояние от точки вылета до точки встречи называется **действительной дальностью.**

Угол μ, образованный касательной к траектории и касательной к поверхности цели (земли, преграды) в точке встречи, называется **углом встречи** (рис. 82). В расчетах за угол встречи принимается угол меньше 90°.

Угол, образованный касательной к поверхности земли в точке встречи и горизонтальной плоскостью (горизонтом цели), называется **углом ската** ω (см. рис. 82). Условно считают, что если скат обращен в сторону стреляющего (встречный скат), то угол ската положительный, а если скат обращен от стреляющего (обратный скат), то угол ската отрицательный.

При попадании пули в цель, расположенную непосредственно на поверхности земли, величина угла встречи, в зависимости от наклона ската и положения цели относительно горизонта оружия, будет различной.

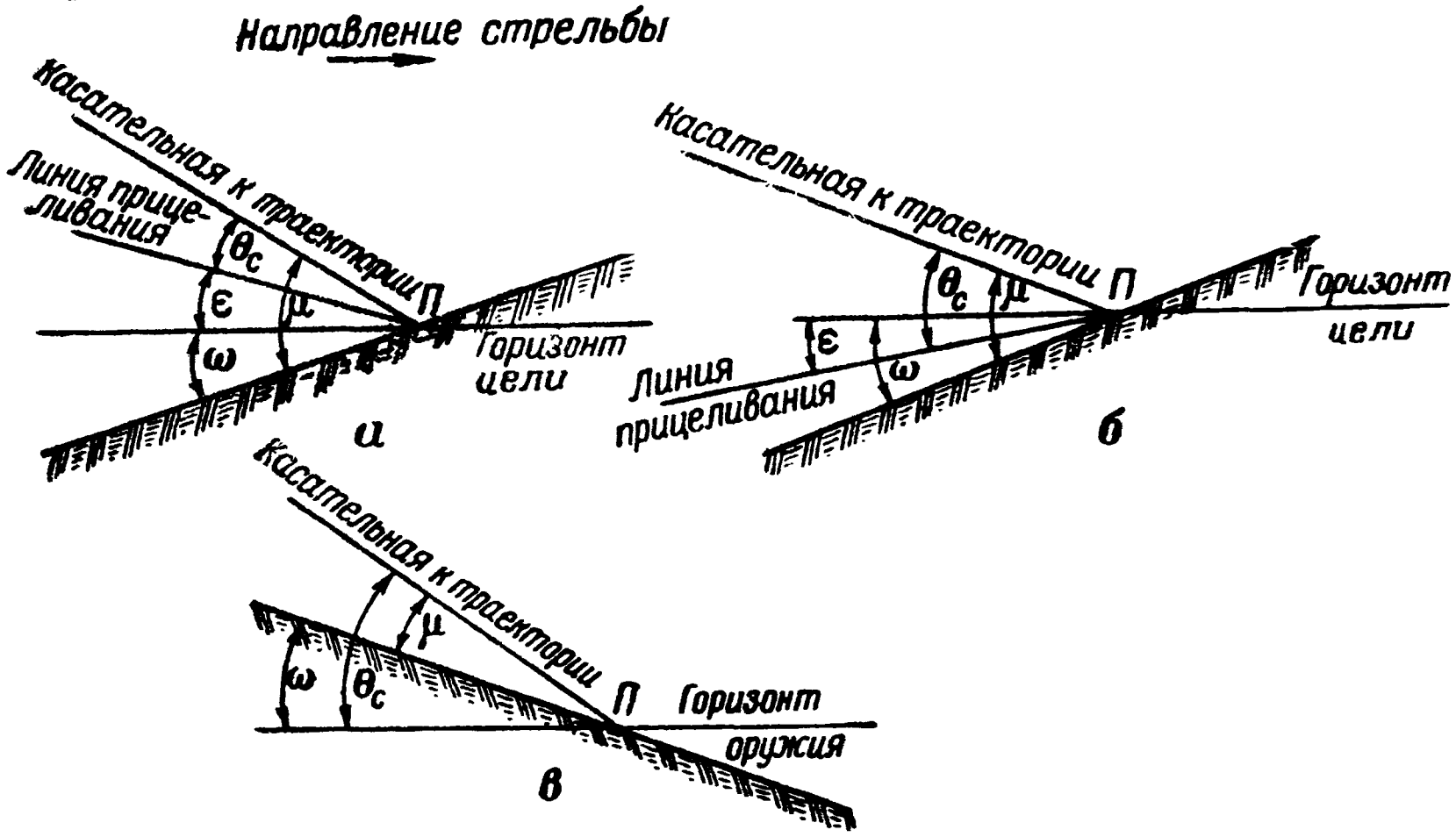


Рис. 83. Зависимость угла встречи от угла падения, угла ската и угла места цели

Выведем общее выражение зависимости между углом встречи, углом падения, углом ската и углом места цели. Для этого рассмотрим различные случаи стрельбы.

Допустим, что стрельба ведется по встречному скату сверху вниз. Если принять конец траектории за прямую линию, провести в точку встречи *П* линию прицеливания (или линию цели) и провести через эту же точку линию горизонта цели, то можно наглядно видеть зависимость между углом встречи μ, углом падения θ_c, углом ската ω и углом места цели ε (рис. 83):

$$\mu = \theta_c + \omega + \varepsilon \text{ (см. рис. 83, } a).$$

При стрельбе снизу вверх

$$\mu = \theta_c + \omega - \varepsilon \text{ (см. рис. 83, } б).$$

Очевидно, что при $\varepsilon = 0$

$$\mu = \theta_c + \omega.$$

Если скат обратный (отрицательный угол ската) и $\varepsilon = 0$, то:

$$\mu = \theta_c - \omega \text{ (см. рис. 83, } в).$$

Когда цель находится на горизонте оружия и на горизонтальной местности ($\varepsilon = 0$, $\omega = 0$):

$$\mu = \theta_c.$$

Во всех рассмотренных случаях угол ската ω входит в выражение со своим знаком: плюс (+), если скат встречный, и минус (—), если скат обратный.

Угол места цели ε входит с обратным знаком: плюс (+), если цель ниже горизонта оружия, и минус (—), если цель выше горизонта оружия, т. е.

$$\mu = \theta_c \pm \omega - (\pm\varepsilon). \qquad (41)$$

Пример. Определить угол встречи, если угол падения $\theta_c = 0\text{-}30$, угол ската $\omega = -0\text{-}10$ и угол места цели $\varepsilon = -0\text{-}20$.

Решение. Подставив имеющиеся данные в формулу (41), получим:

$$\mu = \theta_c \pm \omega - (\pm\varepsilon) = 30 + (-10) - (-20) = 30 - 10 + 20 = 40 \text{ тыс.},$$

или

$$\mu = 0\text{-}40.$$

Примечание. Если при вычислении окажется, что угол встречи отрицательный или равен нулю, то это означает, что цель не может быть поражена с данной огневой позиции.

В зависимости от изменения высоты цели, рельефа местности на всем протяжении траектории и угла встречи изменяется и общая глубина поражаемого пространства по местности.

В том случае когда наклон местности совпадает с линией прицеливания, глубина поражаемого пространства по местности зависит только от крутизны траектории (дальности стрельбы) и высоты цели.

Чаще всего в практике приходится определять глубину поражаемого пространства по местности в районе цели относительно нисходящей ветви траектории, т. е. при обстреле скатов. Поэтому за глубину поражаемого пространства по местности обычно принимают протяжение местности, на котором нисходящая ветвь траектории не поднимается выше цели.

Рассмотрим способы определения глубины поражаемого пространства по местности *Ппм* при стрельбе по скатам. Для этого определим зависимость глубины поражаемого пространства по местности от высоты цели и угла встречи.

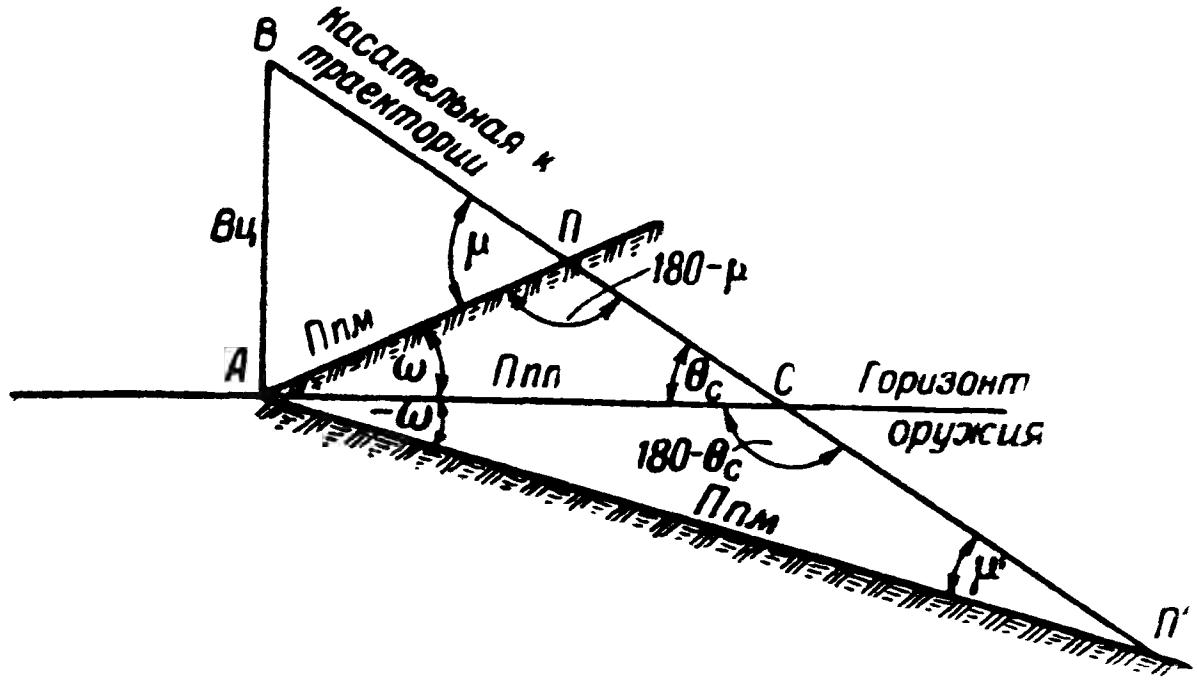


Рис. 84. Зависимость глубины поражаемого пространства по местности от высоты цели и угла встречи

Глубина поражаемого пространства по местности при стрельбе по скатам зависит от угла встречи и величины прицельного поражаемого пространства или, как будет показано ниже, от угла встречи и высоты цели.

Рассмотрим эту зависимость.

Угол места цели ε примем равным нулю.

Из треугольника *АСП* (рис. 84), где сторона *АП* есть *Ппм* и *АС* есть *Ппп*, найдем:

$$\frac{Ппп}{\sin(180° - \mu)} = \frac{Ппм}{\sin \theta_c};$$

отсюда получим:

$$Ппм = \frac{Ппп \cdot \sin \theta_c}{\sin(180° - \mu)}.$$

Упростим формулу, заменив $\sin(180° - \mu) = \sin \mu$ и $\sin \theta_c$ их значением, выраженным в тысячных $\left(\sin \theta_c = \frac{\theta_c}{1000};\ \sin \mu = \frac{\mu}{1000}\right)$.

Тогда формула примет вид:

$$Ппм = \frac{Ппп \cdot \theta_c}{\mu}. \qquad (42)$$

Следовательно, глубина поражаемого пространства по местности прямо пропорциональна глубине прицельного поражаемого про-

странства по линии прицеливания и углу падения и обратно пропорциональна углу встречи.

Пример. Стрельба ведется из ручного пулемета на дальность 500 *м* по поясным фигурам ($Вц = 1$ *м*), расположенным на встречном скате крутизной 0-25. Определить *Ппм*.

Решение. По таблицам стрельбы находим разность превышений на 350 и 400 *м* (прицел 5), равную 0,21 *м*. Разность между высотой цели и меньшим превышением равна 0,15 *м* (1—0,85).

$$Ппп = 100 + \frac{50 \cdot 0{,}15}{0{,}21} \approx 136 \text{ м}.$$

Угол встречи

$$\mu = \theta_c + \omega = 12 + 25 = 37 \text{ тыс.}$$

Определим *Ппм* по формуле (42):

$$Ппм = \frac{Ппп \cdot \theta_c}{\mu} = \frac{136 \cdot 12}{37} \approx 44 \text{ м}.$$

Выведем зависимость глубины поражаемого пространства по местности от высоты цели и угла встречи для тех случаев, когда высота цели не более $^1/_3$ высоты траектории:

$$Ппп = \frac{Вц \cdot 1000}{\theta_c}.$$

Подставив значение *Ппп* в ранее выведенную формулу, получим:

$$Ппм = \frac{Вц \cdot 1000}{\mu}. \qquad (43)$$

Пример. Стрельба ведется из ротного пулемета на дальность 1000 *м* по цели высотой 1,5 *м*. Определить *Ппм*, если угол ската: а) $\omega = 0\text{-}20$; б) $\omega = -0\text{-}20$ и угол места цели ε равен нулю.

Решение. По таблицам стрельбы определяем угол падения:

$$\theta_c = 0\text{-}32.$$

а) По формуле (41) находим угол встречи:

$$\mu = \theta_c + \omega;$$

$$\mu = 32 + 20 = 52 \text{ тыс., или } 0\text{-}52.$$

По формуле (43) определяем глубину поражаемого пространства *Ппм*:

$$Ппм = \frac{Вц \cdot 1000}{\mu} = \frac{1{,}5 \cdot 1000}{52} \approx 29 \text{ м};$$

б) $\mu = \theta_c - \omega$; $\mu = 32 - 20 = 12$ тыс., или 0-12;

$$Ппм = \frac{1{,}5 \cdot 1000}{12} = 125 \text{ м}.$$

Таким образом, если угол места цели равен нулю, то при стрельбе по встречным скатам глубина поражаемого пространства по мест-

ности уменьшается, а при стрельбе по обратным скатам увеличивается [1].

Чтобы получить большую глубину поражаемого пространства по местности, нужно, в частности, стремиться к уменьшению угла встречи. Это достигается умелым выбором огневых позиций и направления стрельбы, потому что величина угла встречи зависит также и от угла места цели. При всех прочих одинаковых условиях при стрельбе сверху вниз (при отрицательном угле места цели) глубина поражаемого пространства по местности уменьшается, а при стрельбе снизу вверх (при положительном угле места цели) увеличивается (рис. 85).

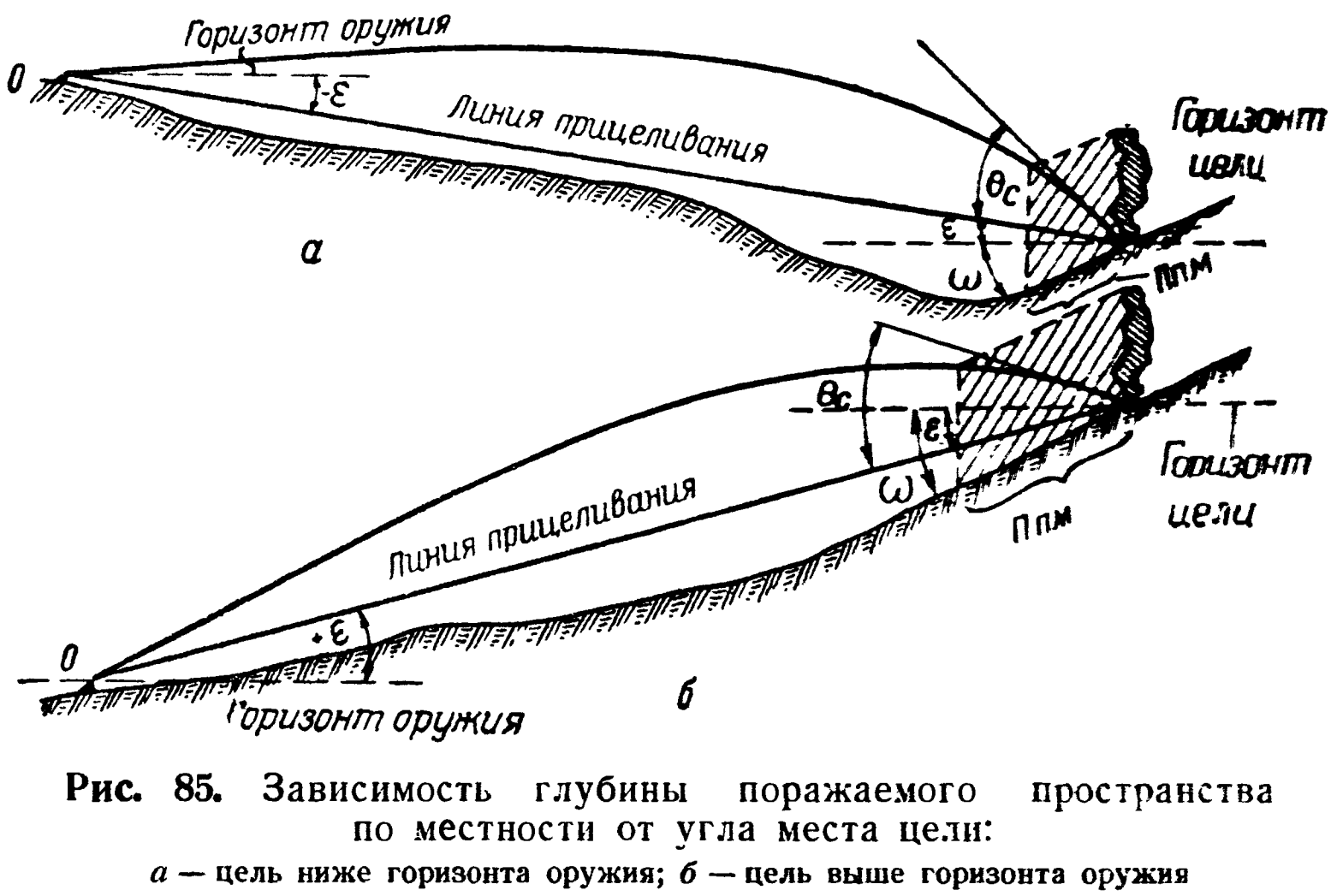


Рис. 85. Зависимость глубины поражаемого пространства по местности от угла места цели:
а — цель ниже горизонта оружия; *б* — цель выше горизонта оружия

Практическое значение поражаемого пространства по местности заключается в том, что оно обеспечивает поражение (при соблюдении точности прицеливания) глубоких групповых и движущихся в плоскости стрельбы одиночных живых и мотоцелей на всем протяжении своей глубины без изменения установки прицела и без искусственного рассеивания в глубину. Поэтому важно, чтобы при организации системы огня огневые позиции выбирались для каждого образца оружия с учетом местности как в своем расположении, так и в районе цели. В ряде случаев бывает выгодно, чтобы линия прицеливания проходила как можно ближе к поверхности земли в районе появления целей. Исходя из этих соображений, целесообразно, например, в предвидении стрельбы ночью огневые по-

[1] Полученная формула (43) справедлива только для тех случаев, когда линия ската имеет один и тот же угол наклона к горизонту на всем протяжении поражаемого пространства в районе цели. При значительной величине поражаемого пространства характер рельефа местности может быть таким, как на рис. 81. Понятно, что в этом случае для определения глубины поражаемого пространства по местности пользоваться формулой (43) нельзя.

зиции части пулеметов располагать ниже тех участков местности, где могут быть цели. При выборе огневых позиций на скатах надо стремиться к тому, чтобы впереди лежащая местность имела по возможности одинаковый наклон, что в значительной степени увеличит глубину поражаемого пространства, так как сноп траекторий будет проходить близко от поверхности земли. Это обстоятельство особенно важно при стрельбе в условиях ограниченной видимости.

4. ПРИКРЫТОЕ И МЕРТВОЕ ПРОСТРАНСТВО

Если на пути снопа траекторий встретится какое-либо препятствие, не пробиваемое пулей, то часть пуль попадет в укрытие, а часть пройдет выше и в непосредственной близости от его вершины (рис. 86).

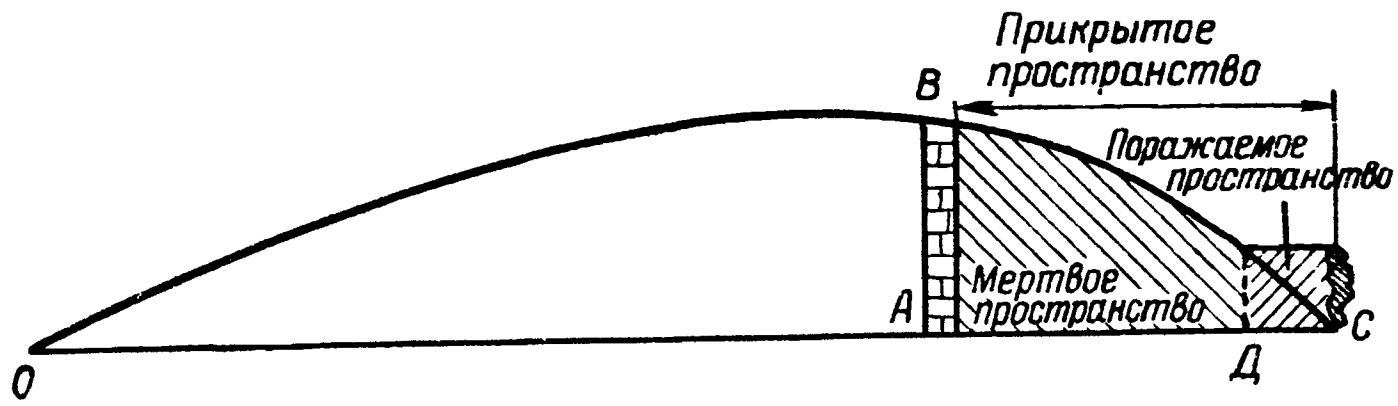


Рис. 86. Прикрытое, мертвое и поражаемое пространство

Пространство за укрытием, не пробиваемым пулей, от его гребня до точки встречи называется **глубиной прикрытого пространства** или просто **прикрытым пространством** (*Пп*).

За укрытием траектория понижается и на некотором участке проходит не выше цели данной высоты; этот участок является поражаемым пространством (*ДС*).

На некотором участке прикрытого пространства (*АД*) цель данной высоты при данных условиях стрельбы не может быть поражена.

Часть прикрытого пространства, на котором цель не может быть поражена данной траекторией, называется **мертвым пространством** (*Мп*).

Глубина мертвого пространства зависит от высоты укрытия, высоты цели, степени отлогости траектории и рельефа местности за укрытием.

Из рис. 86 видно, что глубина мертвого пространства представляет собой разность между прикрытым и поражаемым пространством. Поэтому вычисление величины мертвого пространства сводится к определению глубины прикрытого и глубины поражаемого пространства. Последняя определяется способами, описанными выше.

а) **Определение глубины прикрытого пространства** покажем на примере.

Стрельба ведется из ротного пулемета поверх укрытия высотой 3 *м*, расположенного на дальности 600 *м*. Определить глубину прикрытого пространства *Пп*.

Для того чтобы перебросить пулю через укрытие, необходимо придать оси канала ствола угол возвышения φ. В условиях примера (рис. 87):

$$\varphi = \alpha + \varepsilon',$$

где α — угол прицеливания, соответствующий дальности до укрытия; $\alpha = 8{,}1$ тыс. (по таблице);

ε' — угол видимости укрытия (угол места точки прицеливания):

$$\varepsilon' = \frac{Ву \cdot 1000}{Д} = \frac{3 \cdot 1000}{600} = 5 \text{ тыс. (0-05).}$$

Таким образом, угол возвышения $\varphi = 8{,}1 + 5 = 13{,}1$ тыс., что соответствует полной горизонтальной дальности $ОС = 850$ *м*.

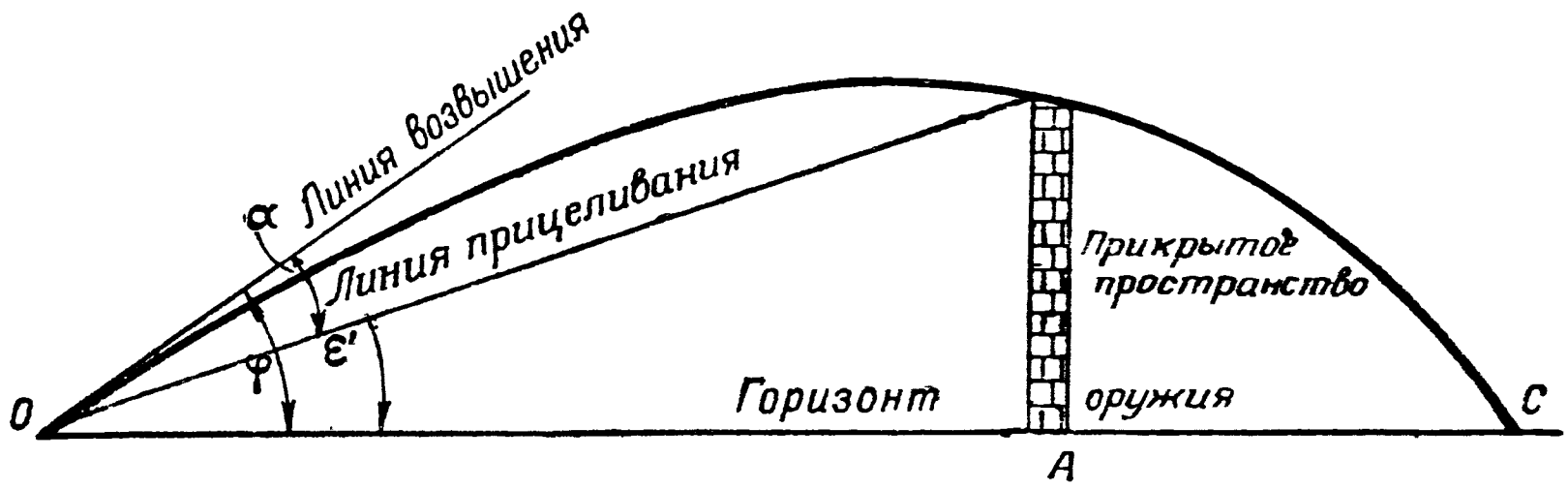


Рис. 87. Определение глубины прикрытого пространства по углу прицеливания

Глубина прикрытого пространства есть разность между полученной дальностью и дальностью до укрытия, т. е.

$$Пп = ОС - ОА;$$

$$Пп = 850 - 600 = 250 \text{ } м.$$

Глубину прикрытого пространства можно определить и по таблице превышений траекторий над линией прицеливания. Для этого путем подбора находят превышение, соответствующее высоте укрытия и дальности до него. Прицел для данной траектории укажет полную горизонтальную дальность, а разность между ней и дальностью до укрытия составит глубину прикрытого пространства.

Пример. Определить глубину прикрытого пространства при стрельбе из ручного пулемета, если дальность до укрытия 500 *м* и высота укрытия 1,3 *м*.

Решение. По таблицам стрельбы находим, что на 500 *м* превышение, равное высоте укрытия (1,3 *м*), имеет траектория с прицелом 6. Следовательно:

$$Пп = 600 - 500 = 100 \text{ } м.$$

В тех случаях, когда высота укрытия меньше $^1/_3$ высоты траектории, соответствующей дальности до укрытия, глубину прикрытого пространства можно определить по формуле:

$$Пп = \frac{Ву \cdot 1000}{\theta_c}, \text{ или } Пп = Ву \cdot К, \qquad (44)$$

где $Ву$ — высота укрытия;
θ_c — угол падения, отвечающий дальности до укрытия.

Пример. Стрельба ведется из станкового пулемета легкой пулей с прицелом 10 поверх укрытия высотой 1,8 *м*. Определить глубину прикрытого пространства.

Р е ш е н и е. Полагаем, что расстояние до укрытия равно 1000 *м*. По таблицам стрельбы находим угол падения, соответствующий дальности до укрытия: $\theta_c = 0\text{-}30$.

По формуле (44) получим:

$$Пп = \frac{Ву \cdot 1000}{\theta_c} = \frac{1{,}8 \cdot 1000}{30} = 60 \text{ м}.$$

Выясним геометрический смысл величины $Пп$, определяемой по формуле (44), ибо очевидно, что по углу падения, соответствующему дальности до укрытия, нельзя определить действительную глубину прикрытого пространства, находящегося за укрытием.

Пусть AC' (рис. 88) — высота укрытия, расположенного на дальности OA от стреляющего. Допустим, что подобрана такая траектория, которая проходит непосредственно над укрытием и имеет

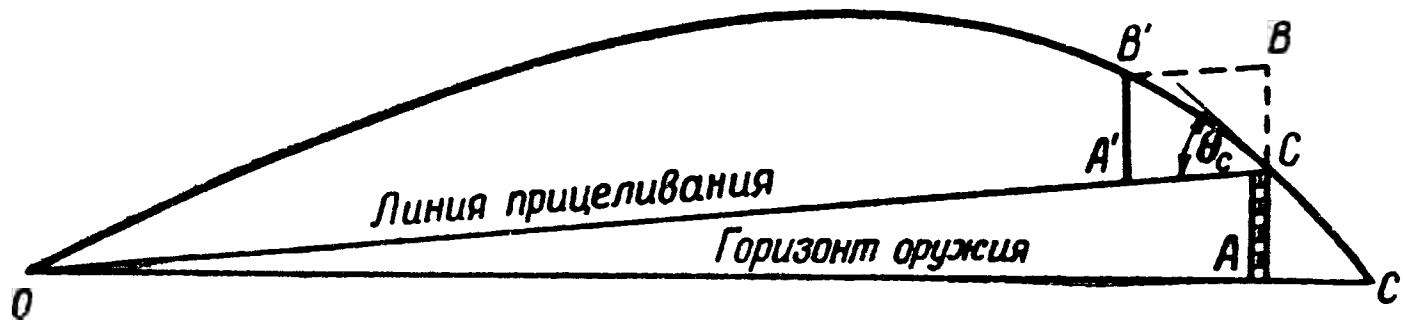


Рис. 88. Определение глубины прикрытого пространства по углу падения (по формуле тысячной)

точку падения C. Тогда действительная глубина прикрытого пространства будет выражена отрезком AC. Поскольку высота укрытия весьма мала по сравнению с дальностью до него, можно считать, что $OC' = OA$. Продолжим отрезок AC' до точки B так, чтобы $AC' = C'B$, и будем перемещать полученный отрезок $C'B$ вдоль линии OC' до тех пор, пока верхняя его точка не коснется траектории. Участок нисходящей ветви траектории $B'C$ примем за прямую линию. Тогда отрезок $A'C'$ можно рассматривать как глубину прикрытого пространства по линии прицеливания OC'. По формуле (44) определяется и принимается за глубину действительного прикрытого пространства именно этот отрезок, так как определить непосредственно величину AC, пользуясь данным способом, мы не можем. Однако в известных случаях отрезки $A'C'$ и AC по своей величине мало отличаются друг от друга.

Изобразим правую часть рис. 88 в виде двух треугольников $A'C'B'$ и ACC' (рис. 89). В них соответственно равны: стороны AC' и $A'B'$, углы $AC'C$ и $A'B'C'$. Для равенства треугольников, а следовательно, и сторон $A'C'$ и AC необходимо, чтобы углы $C'AC$ и $B'A'C'$ были равны. Но угол $C'AC$ — прямой, а угол $B'A'C'$ отличается от прямого на величину угла укрытия ε'. Отсюда можно сделать вывод, что определение глубины прикрытого пространства по формуле (44) возможно при незначительной величине угла укрытия ε'. Величина этого угла тем меньше, чем дальше от точки

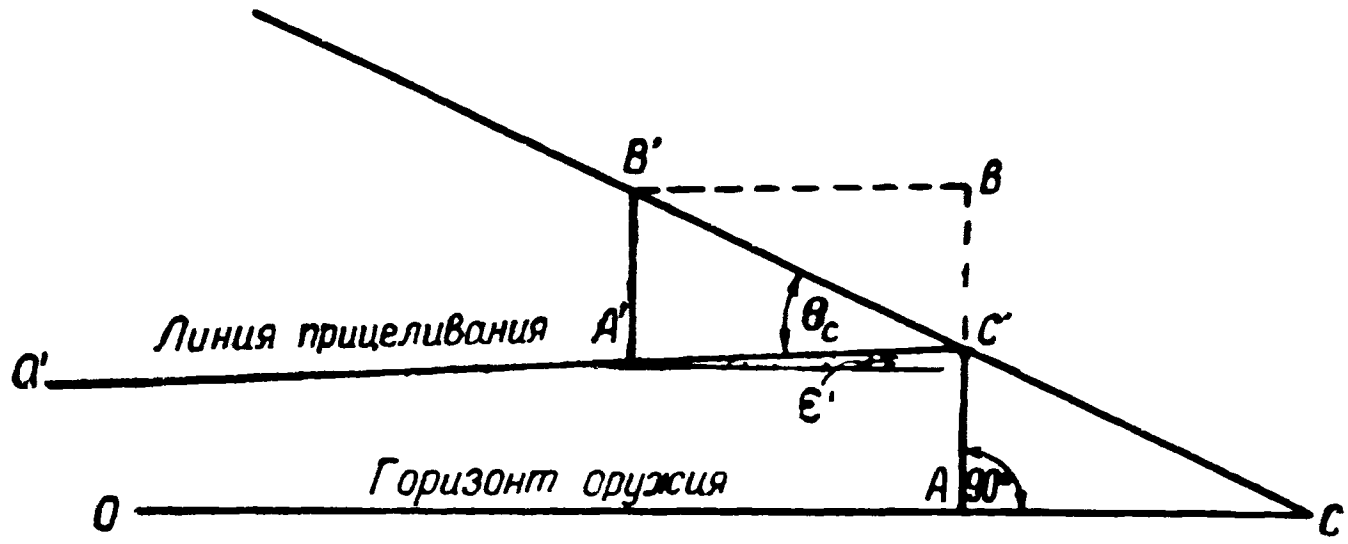


Рис. 89. Определение глубины прикрытого пространства

вылета находится укрытие и чем меньше его высота. Критерием применимости формулы (44) можно считать условие, когда высота укрытия меньше $^1/_3$ высоты траектории, соответствующей дальности до укрытия. Так, например, в условиях предыдущего примера при дальности до укрытия 1000 *м* высота траектории будет 5,5 *м*; следовательно, возможная высота укрытия должна быть не более 1,8 *м*. В этом случае угол укрытия ε' составит около 0-02. Очевидно, что в этом случае величины $A'C'$ и AC будут приближенно равны между собой.

Таким образом, при определении глубины прикрытого пространства по формуле (44) мы фактически определяем отрезок $A'C'$, но принимаем его равным отрезку AC. При незначительной величине угла ε' ошибка от такого допущения будет очень мала.

б) **Определение глубины мертвого пространства.** Глубина мертвого пространства, как указывалось раньше, есть разность между глубиной прикрытого и поражаемого пространства:

$$Мп = Пп - Ппп. \qquad (45)$$

Пример. Стрельба ведется из ротного пулемета поверх укрытия высотой 3 *м*, расположенного на дальности 700 *м*, по целям высотой 1,5 *м*.

Определить глубину мертвого пространства.

Решение. Определим глубину прикрытого пространства. На дальности 700 *м* в таблице превышения траекторий отыскиваем превышение, ближайшее по величине к высоте укрытия; это 3,2 *м*, соответствующее прицелу 9. Следовательно, глубина прикрытого пространства больше 100 *м*. Разность превышения и высоты укрытия $3{,}2 - 3{,}0 = 0{,}2$ *м*. Допускаем, что эта разность останется неизменной и на дальности 800 *м* (концы траекторий параллельны). Превышение

траектории на дальности 800 *м* с прицелом 9 равно 2 *м*, а искомой траектории $2 - 0{,}2 = 1{,}8$ *м*.

Тогда

$$Пп = 100 + \frac{100 \cdot 1{,}8}{2} = 100 + 90 = 190 \text{ м}.$$

Определим глубину поражаемого пространства.

Принимая полную горизонтальную дальность $X = 700 + 190 \approx 900$ *м*, по таблице превышений найдем глубину поражаемого пространства: $Ппп \approx 75$ *м*.

Определим глубину мертвого пространства:

$$Мп = Пп - Ппп = 190 \text{ м} - 75 \text{ м} = 115 \text{ м}.$$

В некоторых случаях глубину мертвого пространства можно определить по формуле

$$Мп = \frac{(Ву - Вц) \cdot 1000}{\theta_c},$$

или

$$Мп = (Ву - Вц) \cdot К. \qquad (46)$$

Из примеров видно, что при определенных условиях можно с успехом поражать цели, находящиеся за укрытием. Зная способы определения глубины прикрытого и мертвого пространства, можно заранее предусмотреть, на каком удалении от укрытия и какие цели могут быть поражены огнем из данного вида оружия.

Если за укрытием местность повышается или понижается, то величина прикрытого и мертвого пространства уменьшается или увеличивается.

При стрельбе из оружия с настильной траекторией цели, находящиеся непосредственно за укрытием, не могут быть поражены. Чем настильнее траектория, тем глубина мертвого пространства больше. Следовательно, для поражения целей в этих условиях стрельбы необходимо выбирать огневые позиции с таким расчетом, чтобы угол встречи имел возможно бо́льшую величину, или же использовать оружия с навесной траекторией, например минометы.

ГЛАВА VII

ДЕЙСТВИЕ СНАРЯДОВ ПО ЦЕЛИ

Огнестрельное оружие пехоты предназначено в основном для поражения живой силы противника, расположенной открыто и за легкими укрытиями. Кроме того, некоторые огневые средства предназначены для ведения огня по танкам, бронетранспортерам и другим броневым целям. В зависимости от назначения оружия и устройства боеприпасов действие снарядов по целям бывает различным.

1. ДЕЙСТВИЕ ПУЛЬ ПО ЦЕЛИ

Пуля поражает цель силой своего удара. При стрельбе по живым целям основное значение имеет **убойность пули**, т. е. воздействие пули на живой организм. Убойность пули зависит от различных факторов, из которых главным является кинетическая энергия пули у цели, определяемая по формуле:

$$E_c = \frac{qv_c^2}{2g}, \qquad (47)$$

где E_c — кинетическая энергия пули у цели;
q — вес пули;
v_c — скорость пули у цели;
g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м/сек*^{2}.

Для вывода человека из строя пуле достаточно иметь кинетическую энергию, равную 8 *кгм*.

Современные пули сохраняют убойность на всех дальностях стрельбы, в чем можно убедиться из следующего примера.

Пример. Определить кинетическую энергию пули на дальности 1000 *м*, если скорость пули на этой дальности $v_c = 244$ *м/сек*, а вес пули $q = 0{,}0079$ *кг*.

Решение.

$$E_c = \frac{qv_c^2}{2g} = \frac{0{,}0079 \cdot 244^2}{2 \cdot 9{,}81} \approx 24 \text{ кгм}.$$

Пистолетные пули сохраняют убойность на дальности до 500 *м*.

Кроме величины кинетической энергии пули, убойность пули зависит также от «бокового действия», «останавливающего действия» и «гидродинамического действия».

«Боковое действие» заключается в том, что область, подвергнутая разрушению при попадании пули, оказывается значительно больше диаметра пули. «Боковое действие» зависит как от свойств среды, в которую попадет пуля, так и от устойчивости пули при движении ее в тканях организма и от способности пули к деформации. Устойчивость пули на полете обеспечивается быстрым вращательным движением; попадая в организм — среду с большим сопротивлением, пуля быстро теряет скорость вращательного движения, а следовательно, и устойчивость. Чем больше потеря скорости вращения, тем больше «боковое действие» пули.

«Останавливающее действие» заключается в способности пули выводить из строя живой организм в короткий промежуток времени. Чем меньше время между моментом попадания и моментом расстройства функций живого организма, тем сильнее «останавливающее действие». При прочих одинаковых условиях «останавливающее действие» возрастает с увеличением калибра пули. «Останавливающее действие» имеет особо важное значение для боя на близких расстояниях, т. е. для стрельбы из пистолетов и револьверов.

«Гидродинамическое действие» заключается в разрушении не только тех тканей, которые непосредственно задеты пулей, но и соседних тканей. «Гидродинамическое действие» проявляется при попадании пули с большой скоростью (свыше 700 *м/сек*) в области, богатые жидкостью. Это явление объясняется тем, что сопротивление жидкой среды увеличивается с возрастанием скорости. Ранение, сопровождаемое «гидродинамическим действием», напоминает действие разрывных пуль.

Так как стрельба из стрелкового оружия ведется не только по открытой живой силе, но и по находящейся за легкими укрытиями, важное значение приобретает **пробивное действие** пули, т. е. способность пули пробивать различные преграды. Пробивное действие зависит от свойств преграды, кинетической энергии пули в момент встречи с преградой, калибра пули, ее веса, формы и конструкции. Увеличение скорости пули, а следовательно, и кинетической энергии ее приводит к увеличению пробивного действия. Следовательно, с увеличением дальности стрельбы пробивное действие уменьшается. Однако на очень близких расстояниях наблюдается обратное явление: при большой скорости пробивное действие не только не увеличивается, но становится меньше. Это объясняется тем, что пуля, имеющая большую скорость, при встрече с преградой деформируется и труднее проникает в нее. Результаты опытов, проведенных с пулей обр. 1908 г., показаны в табл. 9.

Пробивное действие пули обр. 1908 г. на дальности 100 *м* по различным преградам характеризуется данными, помещенными в табл. 10.

Стекло триплекс, прикрывающее смотровые щели боевых машин, пулей не пробивается, но происходит растрескивание первых слоев стекла, вследствие чего наблюдение через стекло становится невозможным.

Таблица 9

Скорость пули, *м/сек*	Глубина проникновения пули, *мм*	
	в песок	в дерево
865	140	300
750	160	750
600	320	420
300	240	120

Таблица 10

Материал преграды	Глубина проникновения, *мм*
Стальная плита	6
Гравий	120
Кирпичная стена . . .	150
Земля	450
Песок	450
Дубовая стена	450
Сосновая стена	500

Бронебойная способность пули зависит от тех же факторов, что и пробивное действие. Повышение бронебойной способности зависит от качества материала, из которого сделана пуля. Бронебойная пуля имеет внутри сердечник из твердой стали и снаружи мягкую оболочку для обеспечения врезания пули в нарезы и предохранения головной части сердечника от разбивания при встрече с броней (рис. 90). Бронебойная способность бронебойной пули калибра 7,62 *мм* характеризуется следующими данными: броня толщиной *7 мм* на дальностях до 400 *м* пробивается в 100% попаданий, на дальности 600 *м* — в 75%, на 800 *м* — меньше 50% и на дальности 1000 *м* не пробивается совершенно. Большое значение для бронебойной способности имеет и угол встречи с преградой. Чем угол встречи ближе к 90°, тем больше бронебойная способность; чем меньше угол встречи, тем бронебойная способность меньше.

При очень больших скоростях, превышающих 1000 *м/сек,* замечается резкое повышение пробивной и бронебойной способности; в этих условиях даже мягкая свинцовая пуля способна пробивать броню до 15 *мм*. Это объясняется тем, что при таких больших скоростях происходит действие, аналогичное «гидродинамическому действию».

Зажигательные, трассирующие и другие специальные пули, помимо своего основного назначения,

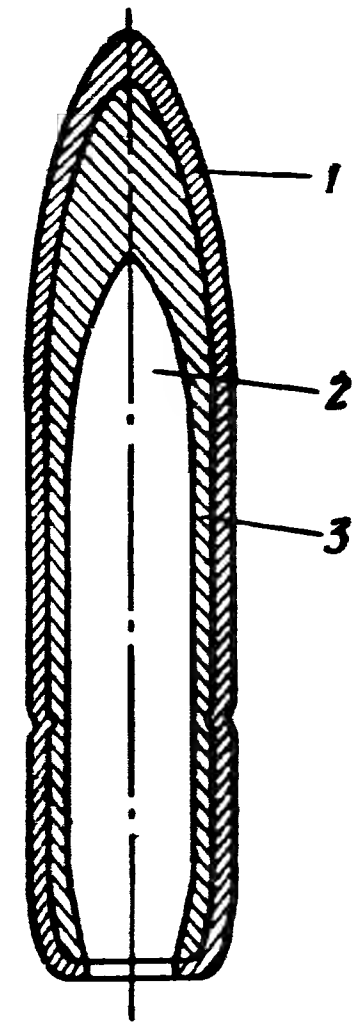


Рис. 90. Бронебойная пуля (продольный разрез):
1 — оболочка; *2* — стальной сердечник; *3* — свинцовая рубашка

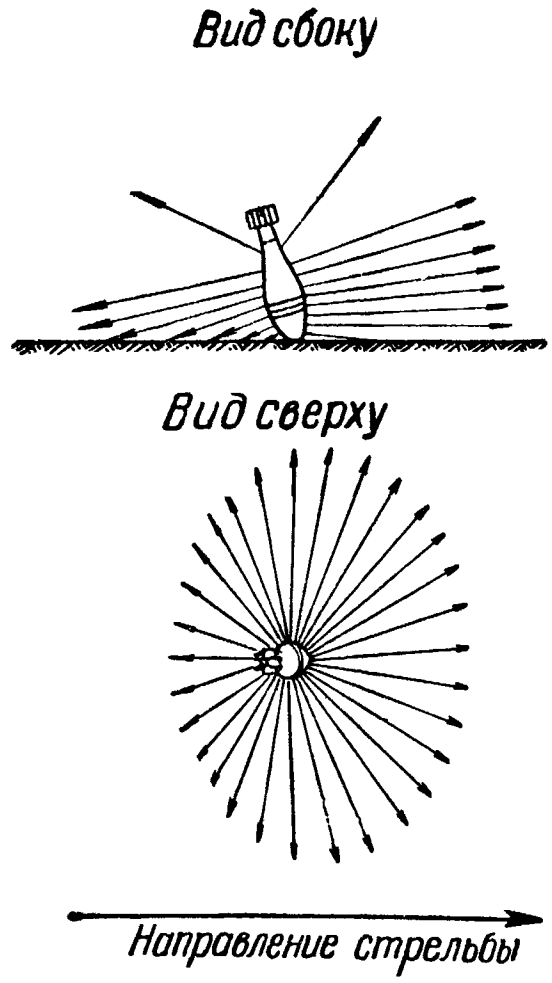


Рис. 91. Разлет осколков при разрыве 82-*мм* мины

оказывают на живую силу и на преграду такое же действие, как и обыкновенные пули.

2. ДЕЙСТВИЕ 82-*мм* МИН ПО ЦЕЛИ

82-*мм* осколочные мины поражают живую силу противника осколками, образующимися при разрыве корпуса мины. Такое действие мины по цели называется **осколочным действием.**

Осколочное действие зависит от калибра и веса мины, механических свойств корпуса мины, состава и веса взрывчатого вещества, угла встречи, твердости грунта в месте падения мины и чувствительности взрывателя.

Калибром и весом мины определяется та масса металла, которая превращается в осколки при разрыве мины; механические свойства корпуса мины определяют возможность разрыва корпуса на большое число осколков. От состава и веса взрывчатого вещества зависит сила взрыва, разрывающая корпус мины на осколки, дальность разлета и убойность осколков. Угол встречи мины с преградой определяет форму площади, поражаемой осколками; при малых углах встречи большая часть осколков разлетается в стороны от направления стрельбы и значительное число их уходит в грунт и вверх, не оказывая убойного действия. С увеличением угла встречи глубина площади поражения осколками возрастает; при углах встречи, близких к 90°, площадь поражения осколками имеет форму почти правильного круга, количество осколков, уходящих в грунт и вверх, незначительно (рис. 91). Чем тверже грунт в месте падения мины, тем лучше осколочное действие, так как при твердом грунте мина не успевает глубоко войти в землю и разрыв происходит на поверхности земли; на мягком грунте воронка получается более глубокой и осколочное действие мины слабее (рис. 92). Чув-

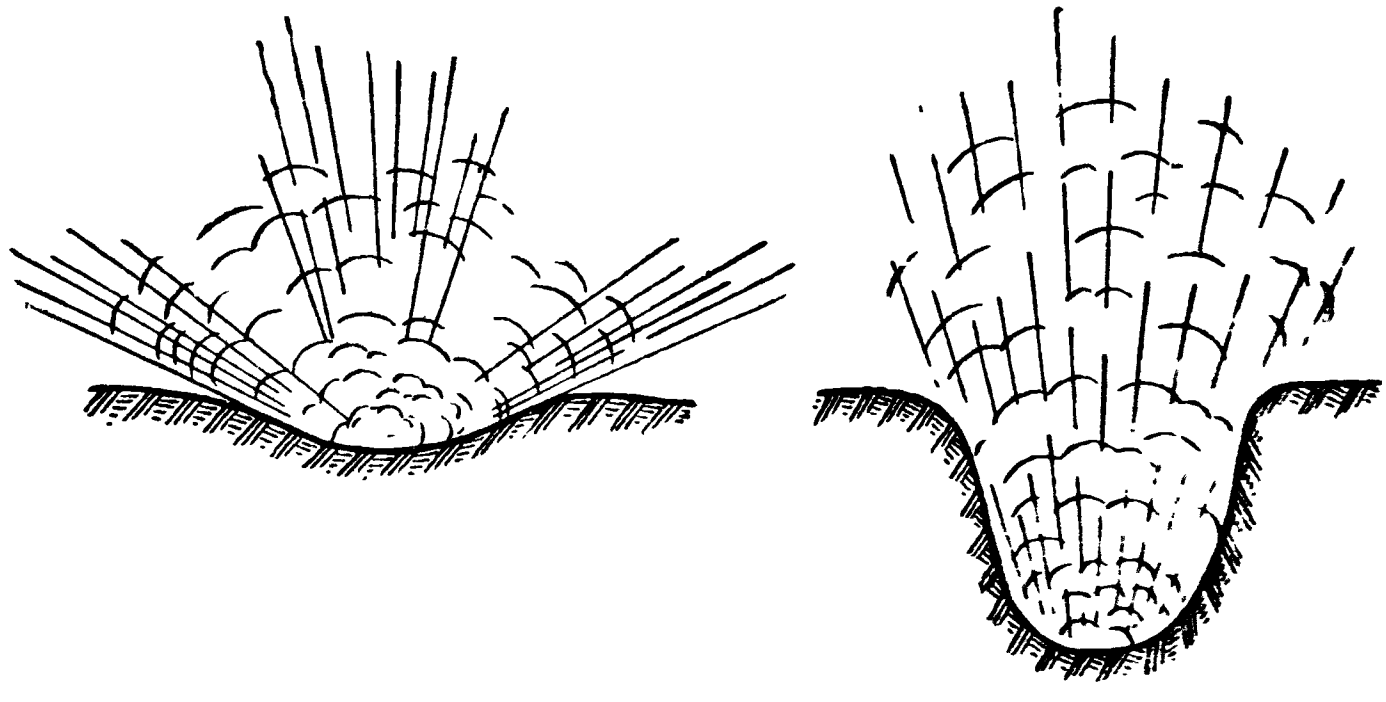


Рис. 92. Разлет осколков при образовании мелкой и глубокой воронки

ствительность взрывателя также влияет на глубину проникновения мины в преграду: чем взрыватель чувствительнее, тем быстрее происходит разрыв мины и, следовательно, тем меньше проникновение мины в преграду.

Осколочное действие мины характеризуется количеством убойных осколков и площадью поражения.

82-*мм* мина при разрыве дает около 350 убойных осколков. Разрыв мины происходит на самой поверхности земли, глубина воронки обычно весьма незначительна. Так как стрельба из минометов ведется при больших углах возвышения, то и углы встречи с преградой обычно также велики; при стрельбе по встречным скатам углы встречи близки к 90°. Поэтому площадь поражения осколками для 82-*мм* мины по своей форме близка к кругу. Характеристикой площади поражения является радиус поражения. При этом различают радиус действительного поражения и радиус сплошного поражения.

Под **радиусом действительного поражения** понимают радиус круга, в котором при разрыве одной мины поражается не менее 50% целей, расположенных на данной площади. Для 82-*мм* мин радиус действительного поражения равен 18 *м* для лежащих целей и 30 *м* для ростовых целей.

Под **радиусом сплошного поражения** понимают радиус круга, в котором при разрыве одной мины поражается не менее 90% целей, расположенных на данной площади. Радиус сплошного поражения примерно в 2,5—3 раза меньше радиуса действительного поражения.

Дымовые 82-*мм* мины при разрыве дают плотное облако белого дыма шириной до 20—25 *м* и высотой до 15—20 *м*, создающее дымовую завесу. Кроме того, при разрыве дымовой мины кусочки горящего фосфора разлетаются от места разрыва на 10—15 *м* и могут поражать живую силу противника. Осколочное действие дымовой мины на 35—40% слабее, чем осколочной мины.

3. КУМУЛЯТИВНОЕ ДЕЙСТВИЕ

Одним из мощных современных средств борьбы с бронецелями являются кумулятивные снаряды (гранаты). Идея кумулятивного действия основана на сосредоточении энергии разрывного заряда и придании ей определенного направления.

При взрыве заряда взрывчатого вещества, имеющего сферическую форму, с детонатором в центре сферы детонация достигает всех точек поверхности сферы одновременно и продукты взрыва распространяются во все стороны с одинаковой силой и скоростью. Если же сместить детонатор в какую-либо сторону, то действие взрыва увеличивается в противоположном направлении. Для того чтобы направить основную массу продуктов взрыва в определенном направлении, разрывной заряд, кроме смещения детонатора, должен иметь еще особую выемку в стороне, противоположной смещению детонатора. Такая выемка носит название кумулятивной. На-

личие кумулятивной выемки обеспечивает сосредоточенное и направленное действие продуктов взрыва (рис. 93).

При встрече кумулятивного снаряда (рис. 94) с броней срабатывает взрыватель мгновенного действия и взрыв передается на детонатор, вызывающий детонацию разрывного заряда. Продукты взрыва при значительной температуре и высоком давлении направляются в сторону кумулятивной выемки. За это время снаряд продолжает движение вперед и разрушается его головка, сделанная из мягкого металла.

Направленная струя газов образует в броне сквозную пробоину, причем за преграду (например, внутрь танка) проникает поток газов, способный вызвать поражение людей (экипажа танка), разрушение оборудования и пожар.

Пробоина от действия кумулятивного снаряда имеет конусообразную форму с выходным диаметром, меньшим входного.

Если для обычного бронебойного снаряда очень большое значение имеет его скорость, то на действие кумулятивного снаряда ско-

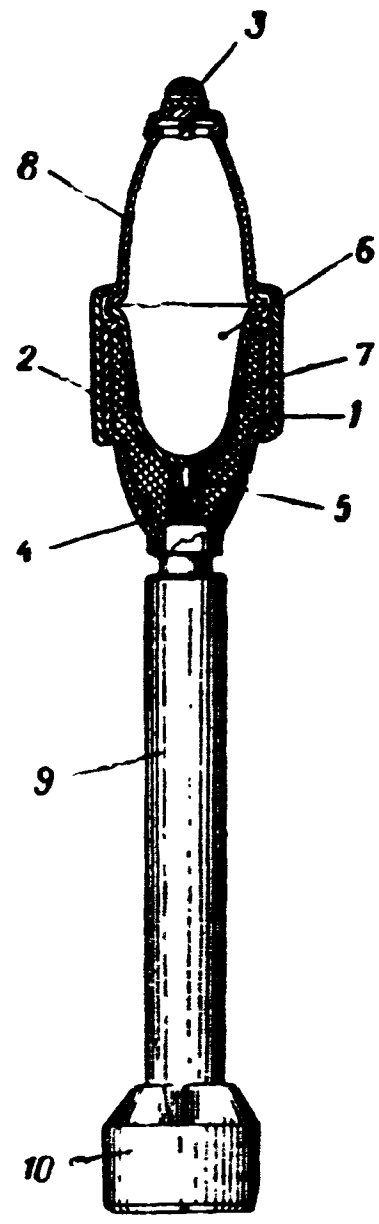


Рис. 94. Реактивный снаряд кумулятивного действия:

1 — корпус; *2* — разрывной заряд; *3*—взрыватель; *4* — детонатор; *5* — центральная трубка; *6* — кумулятивная выемка; *7* — металлическая воронка; *8* — головка; *9* — реактивная камера; *10* — стабилизатор

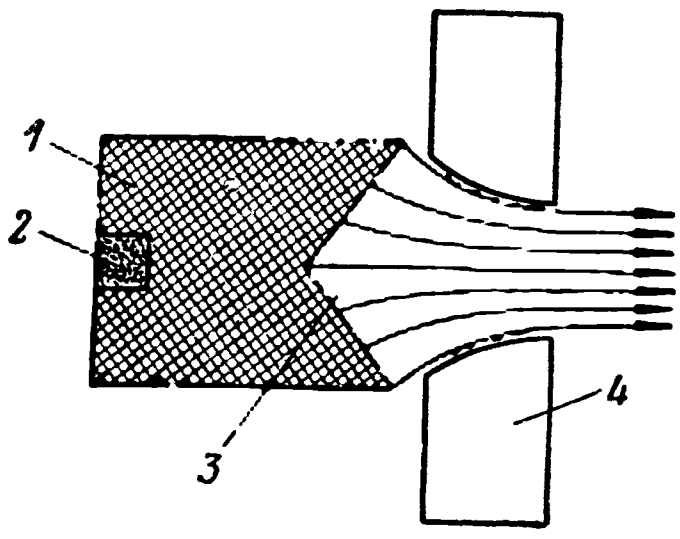


Рис. 93. Схема действия разрывного заряда с кумулятивной выемкой:

1 — разрывной заряд; *2* — детонатор; *3* — кумулятивная выемка; *4* — броневая плита

рость не оказывает существенного влияния; наоборот, большая скорость может оказать даже вредное действие, так как при встрече с броней на большой скорости снаряд может деформироваться, изменится форма разрывного заряда и будет потеряно кумулятивное свойство. Поэтому стрельба кумулятивными снарядами ведется при малых скоростях. Основную роль в кумулятивных снарядах играет мощность взрывчатого вещества и форма кумулятивной выемки. Чем больше мощность взрывчатого вещества, тем сильнее действие кумулятивного снаряда. Форма кумулятивной выемки подбирается опытным путем; наиболее часто применяются конические и сфериче-

ские выемки. Кроме того, кумулятивное действие может быть повышено наличием тонкой металлической воронки (колпачка) на кумулятивной выемке.

В сравнении с обычными бронебойными кумулятивные снаряды имеют ряд преимуществ: высокое бронебойное действие, дешевизну, простоту изготовления и простоту устройства установки для стрельбы с малыми скоростями.

К недостаткам кумулятивных снарядов можно отнести малые дальности стрельбы и значительное рассеивание вследствие небольших скоростей полета.

ГЛАВА VIII

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

1. ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Теория стрельбы исследует и разрабатывает методы составления правил стрельбы, исходя из опытных данных и математических закономерностей, устанавливаемых **теорией вероятностей.**

Теория вероятностей — математическая наука, изучающая закономерности, присущие случайным событиям массового характера.

Случайными считаются такие события, которые при определенных условиях могут произойти или не произойти.

В зависимости от сочетания или совокупности условий данное событие может быть либо **достоверным,** либо **невозможным,** либо **случайным.**

Допустим, что производится стрельба из пистолета отличным стрелком по грудной фигуре с кругами на расстоянии 20 *м*. Учитывая конкретные условия (искусство стрелка, качество оружия, размер цели и т. п.), попадание вообще в мишень можно считать событием **достоверным.** Но при этих же условиях попадание **всех пуль** в одну точку — событие **невозможное.** Попадание же в какую-нибудь часть мишени («десятку», «девятку» и т. д.) — событие **случайное.**

Для значительной части случайных событий характерно то, что условия, при которых они происходят, могут быть воспроизведены неограниченное число раз. Такие события называют случайными событиями массового характера. К ним можно отнести, например, попадания в цель, ошибки измерения и др.

Существует определенная закономерность между числом появлений случайного события массового характера и числом всех опытов, произведенных в возможно одинаковых условиях.

Изучение закономерностей, присущих случайным явлениям массового характера, и составляет основную задачу теории вероятностей.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ СОБЫТИЙ

События в теории вероятностей обозначаются большими буквами латинского алфавита A, B, C, D и т. д.

В зависимости от условий опытов (испытаний) случайные события могут быть **несовместными** или **совместными.**

Если при испытании появление одного события исключает возможность появления другого события, то такие события называются **несовместными.**

Например, производится один выстрел из пистолета по грудной фигуре с кругами. При этом может быть либо попадание в круг 10, либо в круг 9 и т. д., либо промах. Попадание в круг 10 совершенно исключает возможность появления любого другого результата. Следовательно, при одном выстреле все перечисленные события являются несовместными.

Могут быть созданы такие условия, когда появление одного события не исключает возможности появления другого события. Такие события называются **совместными.**

Например, при одном выстреле из миномета может быть перелет и отклонение вправо. Появление перелета не исключает возможности отклонения мины вправо. Следовательно, перелет и отклонение вправо являются событиями совместными.

Группа несовместных событий, из которых при испытаниях одно должно непременно произойти, называется **полной системой событий.**

В зависимости от конкретных условий количество несовместных событий, составляющих полную систему, может быть различное. Например, при одном выстреле из пистолета по спортивной мишени № 4 может быть 11 несовместных событий (либо «десятка», либо «девятка» и т. д., либо промах).

Если полная система состоит только из двух событий, то такие события называются **противоположными.**

Например, при производстве одного выстрела из карабина по фигурной мишени может быть либо попадание, либо промах. Эти события будут противоположными. Если попадание обозначить через A, то противоположное ему событие — промах — обозначается $\bar{A}$ (читается «не — А»).

3. ЧАСТОТА ПОЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЯ

При необходимости сравнить результаты аналогичных испытаний мы определяем, как часто появлялось интересующее нас событие по отношению ко всему числу производившихся в одних и тех же условиях испытаний.

Отношение числа испытаний, в которых появилось интересующее нас событие (m), к числу всех произведенных независимых испытаний (n) называется **частотой появления данного события.**

$$w(A) = \frac{m}{n}, \qquad (48)$$

где $w(A)$ — частота события A.

Пример. При одинаковых условиях произведено 10 выстрелов и получено 6 попаданий. Частота попадания (события A) будет равна:

$$w(A) = \frac{m}{n} = \frac{6}{10} = 0{,}6.$$

Из самого определения следуют основные свойства частоты события.

1) Частота появления события есть неименованное число; наименьшее значение его 0 и наибольшее 1.

$$0 \leqslant w(A) \leqslant 1.$$

Если бы при стрельбе было получено 0 попаданий, то и частота попадания была бы равна нулю $\left(w(A) = \frac{0}{n} = 0\right)$ Если бы попадание было при каждом выстреле, то в этом случае $m = n$ и частота попадания была бы равна 1.

2) Частота появления события изменяется с изменением числа испытаний.

Допустим, что произведено 5 выстрелов и получено 4 попадания. Частота попадания будет равна $\frac{4}{5}$, или 0,8. Если при шестом выстреле будет попадание, то частота увеличится до $\frac{5}{6}$, если же будет промах, то частота уменьшится до $\frac{4}{6}$.

Изменение частоты появления события при испытаниях неизбежно. При малом числе испытаний эти изменения будут резкими, но при большом числе испытаний появление или непоявление данного события большого влияния на частоту не окажет.

Так, например, если в тех же условиях произведено 99 выстрелов и получено 80 попаданий, то попадание при сотом выстреле увеличит частоту до 0,81, т. е. всего на 0,002.

При данных конкретных условиях колебания частоты будут происходить около некоторого совершенно определенного числа.

Так, например, если произвести серию выстрелов по грудной фигуре из карабина, имеющего нормальный бой, с прицелом 3, на расстояние 100 *м* и фиксировать каждый раз результат отклонения пробоины от центра цели по высоте, то нетрудно будет заметить, что частота попадания в нижнюю половину цели будет колебаться около числа 0,5.

Опыт показывает, что существует значительное число случайных событий массового характера, обладающих такой устойчивой частотой.

4. ВЕРОЯТНОСТЬ ПОЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЯ. СВОЙСТВА ВЕРОЯТНОСТИ

Если при данных условиях частота появления массового события A колеблется около некоторого числа, то это число и есть **вероятность появления данного события;** она обозначается $P(A)$ или p.

Допустим, что при большом числе аналогичных стрельб получено примерно по 81 попаданию на каждую сотню выстрелов (частота попадания $w(A) = 0{,}81$). На основании этого можно сказать, что для данных условий и вероятность попадания $P(A) = 0{,}81$. Если повторить подобные стрельбы, то можно ожидать в среднем по 4 попадания на каждые 5 выстрелов.

Вероятность события есть числовая характеристика степени объективной возможности появления события в данных условиях.

Рассмотрим свойства вероятности.

Свойство I. **Вероятность появления случайного события может принимать значения в пределах от 0 до 1.** Это свойство вытекает из того, что вероятность появления события есть число, около которого колеблется частота появления данного события в определенных условиях при неограниченном числе испытаний. Следовательно, пределы возможных значений вероятности должны быть такие же, как и пределы значений частоты.

Свойство II. **Если событие достоверно, то вероятность его равна 1.**

Свойство III. **Если событие невозможно, то вероятность его равна нулю.**

Свойство IV. **Вероятность того, что произойдет одно из двух (или более) несовместных событий, безразлично, какое именно, равна сумме вероятностей этих событий.** Это свойство обычно называется правилом сложения вероятностей и записывается так:

$$P\ (\text{или } A, \text{ или } B, \text{ или } C\ldots) = P(A) + P(B) + P(C) + \ldots \quad (49)$$

Иногда запись производят проще:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots, \quad (49а)$$

где $p_1 = P(A)$, $p_2 = P(B)$ и т. д.

Из этого свойства (правила) вытекает ряд следствий.

а) Если события A, B, C . . . составляют полную систему, то появление одного из них, безразлично какого, достоверно, а так как вероятность достоверного события равна единице, то

$$p = p_1 + p_2 + \ldots + p_n = 1,$$

т. е. **сумма вероятностей событий, составляющих полную систему, равна единице.**

Это следствие имеет важное значение для проверки наличия полной системы (учета всех событий), что необходимо при действиях с вероятностями.

б) Противоположные события A и $\overline{A}$ составляют полную систему, поэтому $P(A) + P(\overline{A}) = 1$. Вероятность противоположного события $P(\overline{A})$ часто обозначают через q, тогда $p + q = 1$. Таким образом, **сумма вероятностей противоположных событий равна единице.**

Отсюда найдем, что $p = 1 - q$. Если известна вероятность одного из противоположных событий, то всегда можно определить вероятность другого события.

Пример 1. Допустим, что стрельба ведется из карабина по мишени, имеющей два круга разных диаметров. Вероятность попадания в малый круг $p_1 = 0{,}2$, вероятность попадания в большой круг $p_2 = 0{,}3$, вероятность попадания

в остальные части мишени (вне кругов) $p_3 = 0{,}45$. Какова вероятность попадания в мишень при одном выстреле?

Поскольку в условиях ничего не сказано о том, какое именно из этих трех событий нас интересует, то искомую вероятность найдем по правилу сложения:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 = 0{,}2 + 0{,}3 + 0{,}45 = 0{,}95,$$

ибо любое из этих событий удовлетворяет поставленным условиям.

Полная система здесь состоит из четырех событий: попадание в малый круг, попадание в большой круг, попадание вне кругов и промах. Вероятность промаха будет равна:

$$q = 1 - 0{,}95 = 0{,}05.$$

Пример 2. Вероятность попадания в фигурную мишень $p = 0{,}7$. Определить вероятность промаха.

Поскольку попадание и промах являются противоположными событиями, сумма вероятностей их

$$p + q = 1,$$

поэтому искомая вероятность

$$q = 1 - p = 1 - 0{,}7 = 0{,}3.$$

Свойство V. **Вероятность совместного появления двух и более независимых событий равна произведению вероятностей появления этих событий.**

$$P\ (\text{и } A, \text{ и } B, \text{ и } C\ldots) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C)\ldots \qquad (50)$$

Запись этой формулы можно произвести короче:

$$p = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \ldots \qquad (50\,\text{а})$$

Это свойство обычно называется правилом умножения вероятностей.

Пример. По одной цели произвели по одному выстрелу из двух противотанковых орудий. Вероятность попадания из первого орудия $p_1 = 0{,}7$, из второго $p_2 = 0{,}6$. Определить вероятность двух попаданий.

Попадание при выстреле из первого орудия не влияет на вероятность попадания при выстреле из второго орудия, поэтому эти события будут **независимыми.**

По правилу умножения искомая вероятность

$$p = p_1 \cdot p_2 = 0{,}7 \cdot 0{,}6 = 0{,}42.$$

События считаются **зависимыми,** когда появление одного влияет на вероятность появления другого, появление первых двух влияет на вероятность третьего события и т. д.

Для таких случаев правило умножения вероятностей формулируется так: вероятность совместного появления двух и более зависимых событий равна произведению вероятности первого события на вероятность каждого последующего события, вычисленную в предположении, что все предыдущие события появились.

Пример. Стрельба ведется из миномета по кустарнику, на площади которого расположена цель. Вероятность прохождения средней траектории через кустарник $p_1 = 0{,}7$; вероятность попадания в цель, при условии, что средняя траектория пройдет через кустарник, $p_2 = 0{,}4$. Определить вероятность попадания в цель.

В данном случае вероятность попадания в цель зависит от того, пройдет ли средняя траектория через кустарник или нет, т. е. эти простые события являются зависимыми. Если бы прохождение средней траектории через кустарник было событием достоверным ($p_1 = 1$), то вероятность попадания в цель была бы равна $p_2 = 0{,}4$. Но по условию первая вероятность составляет только $p_1 = 0{,}7$ достоверности, поэтому искомая вероятность p будет меньше 0,4. По правилу умножения найдем:

$$p = p_1 \cdot p_2 = 0{,}7 \cdot 0{,}4 = 0{,}28.$$

5. СПОСОБЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

В зависимости от условий, в которых протекает опыт, и от характера событий могут быть применены различные способы вычисления вероятностей. Рассмотрим основные из них.

Статистический способ. Сущность этого способа состоит в том, что вероятность определяется на основе статистических данных, т. е на основе результатов большого числа аналогичных испытаний, проведенных в возможно одинаковых условиях. Поскольку вероятность есть число, около которого колеблется частота появления события, наличие большого числа результатов испытаний дает возможность с большей или меньшей точностью выбрать такое число, около которого происходят колебания частоты. Это число и принимается за вероятность появления события.

Классический способ. В некоторых случаях вычисление вероятностей можно производить непосредственным подсчетом по следующей зависимости: **если в результате испытаний может получиться n несовместных и равновероятных исходов испытания, из которых m соответствует событию A, то вероятность появления события A равна $\frac{m}{n}$.**

$$P(A) = \frac{m}{n}. \qquad (51)$$

Пример. Подразделение, состоящее из 30 человек, выстроено для инспекторской стрельбы. Известно, что в подразделении 9 отличных стрелков, 14 хороших и 7 посредственных. Какова вероятность того, что стрелок, вызванный наудачу инспектирующим, окажется отличным стрелком?

Решение. Вызов стрелка «наудачу» означает, что с равной вероятностью может быть вызван любой из стрелков. Кроме того, так как одновременно вызывается только один стрелок, то вызов любого из стрелков есть событие, несовместное с другими. Обозначим вызов отличного стрелка — событие A. Число всех исходов испытаний $n = 30$, так как может быть вызван любой из 30 стрелков. Число исходов, соответствующих событию A, $m = 9$, так как из всех исходов испытаний только 9 приводят к вызову отличного стрелка. Следовательно, вероятность того, что будет вызван отличный стрелок:

$$P(A) = \frac{m}{n} = \frac{9}{30} = 0{,}3.$$

Этот способ называется классическим, так как в ранней (классической) теории вероятностей он являлся основным. В настоящее время он имеет ограниченное применение и в стрелково-артиллерийской практике применяется в сочетании с другими способами.

Способ вычисления вероятностей по отношению мер. Иногда

встречаются такие задачи, в которых число всех возможных исходов испытаний и число исходов, соответствующих данному событию, бесконечно велико.

Например. С самолета сбрасывают бомбы на участок площадью $S = 2500$ $м^2$. Падение бомбы в любой точке этого участка равновероятно. На этом участке находится цель, занимающая площадь $S_1 = 200$ $м^2$. Требуется определить, какова вероятность попадания бомбы в цель. Если принять бомбу за точку, то количество точек, на которые может упасть бомба как в пределах цели, так и в пределах всего участка, т. е. количество исходов испытаний, соответствующих данному событию, и количество всех исходов будет бесконечно велико.

В данном случае искомая вероятность определяется как отношение площади цели к площади всего участка:

$$P(A) = \frac{S_1}{S} = \frac{200}{2500} = 0{,}08, \text{ или } 8\%.$$

В этом примере мы заменили отношение чисел исходов испытаний отношением площадей. Аналогично может быть взято отношение длин, объемов, весов и других мер; отсюда и название способа. Он имеет широкое применение в стрелково-артиллерийской практике.

Способ вычисления неизвестных вероятностей через известные. Во многих случаях непосредственное вычисление искомых вероятностей невозможно, а иногда, хотя и возможно, но нецелесообразно. В таких случаях искомая вероятность вычисляется с помощью различных формул, которые дают возможность при известной вероятности одного из событий вычислить вероятность интересующего нас события. Простейшие случаи применения этого способа были рассмотрены выше: вычисление вероятности одного из противоположных событий, если известна вероятность другого; вычисление вероятности одного из нескольких несовместных событий и т. д.

Рассматриваемые ниже формулы и зависимости также служат для вычисления неизвестных вероятностей через известные.

6. ПОЛНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ. ВЕРОЯТНОСТЬ ГИПОТЕЗ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЯ

При обосновании некоторых правил стрельбы нередко приходится учитывать события, относительно появления которых можно делать только различные предположения (гипотезы), имеющие ту или иную вероятность.

Допустим, что стрельба ведется по цели, расположенной на прямолинейном участке, который мы мысленно разобьем на три участка: I, II и III. Вследствие наличия ошибок при подготовке исходных данных мы не знаем точно, где будет проходить средняя траектория — через I, II или III участок, а знаем только вероятность различных (по числу участков) возможных положений

ее, т. е. гипотез: $P_{\text{I}} = 0{,}2$, $P_{\text{II}} = 0{,}5$ и $P_{\text{III}} = 0{,}3$. Известны также вероятности поражения цели, соответствующие тому или иному положению средней траектории: $p_{\text{I}} = 0{,}05$, $p_{\text{II}} = 0{,}7$ и $p_{\text{III}} = 0{,}1$.

Спрашивается, какова вероятность поражения цели, если средняя траектория пройдет либо через I, либо через II, либо через III участок, безразлично.

Будем рассуждать так. Цель может быть поражена, если:

1) Средняя траектория пройдет в пределах участка I; вероятность поражения цели как сложного события (прохождение средней траектории через участок I и поражение цели при этом) определим по правилу умножения:

$$P_{\text{I}} \cdot p_{\text{I}} = 0{,}2 \cdot 0{,}05 = 0{,}01.$$

2) Средняя траектория пройдет в пределах участка II; вероятность поражения цели при этом будет равна:

$$P_{\text{II}} \cdot p_{\text{II}} = 0{,}5 \cdot 0{,}7 = 0{,}35.$$

3) Средняя траектория пройдет в пределах участка III; вероятность поражения цели в этих условиях будет:

$$P_{\text{III}} \cdot p_{\text{III}} = 0{,}3 \cdot 0{,}1 = 0{,}03.$$

Поскольку нам нужно определить вероятность поражения цели безразлично от того, где будет проходить средняя траектория, а все эти случаи несовместны между собой, искомую вероятность найдем по правилу сложения:

$$P = P_{\text{I}} \cdot p_{\text{I}} + P_{\text{II}} \cdot p_{\text{II}} + P_{\text{III}} \cdot p_{\text{III}} = 0{,}01 + 0{,}35 + 0{,}03 = 0{,}39.$$

Это и будет являться полной (безусловной) вероятностью события.

В общем случае формула полной вероятности записывается так:

$$P = P_1 \cdot p_1 + P_2 \cdot p_2 + \ldots + P_n \cdot p_n = \sum_1^n P_i \cdot p_i. \qquad (52)$$

При вычислении полной вероятности необходимо учитывать несовместные гипотезы, составляющие полную систему; сумма вероятностей всех гипотез всегда должна быть равна единице.

Появление интересующего события может существенно изменить вероятности гипотез, принятых в расчет до испытания.

Допустим, что в указанных выше условиях был произведен выстрел и цель оказалась пораженной. В результате испытания вероятность принятых гипотез существенно изменяется.

Найдем вероятности прохождения средней траектории через тот или иной участок (вероятность гипотез) после испытания, учитывая результат его (поражение цели).

Обозначим вероятность гипотез после испытания, давшего определенный результат, через Q_{I}, Q_{II} и Q_{III}.

Вероятность поражения цели, в предположении, что имела место какая-то (i-тая) гипотеза, будет равна:

$$P_i \cdot p_i = Q_i \sum_1^n P_j \cdot p_j,$$

откуда и получим формулу вероятности гипотез после испытания в общем виде:

$$Q_i = \frac{P_i \cdot p_i}{\sum_1^n P_j p_j}. \qquad (53)$$

Вероятность гипотезы после испытания (Q_i) равна произведению вероятности гипотезы до испытания на вероятность события по данной гипотезе, деленному на полную вероятность.

По этой формуле найдем вероятности принятых нами гипотез после испытания:

$$Q_{\text{I}} = \frac{P_{\text{I}} \cdot p_{\text{I}}}{\sum_1^n P_j p_j} = \frac{0{,}01}{0{,}39} = 0{,}026;$$

$$Q_{\text{II}} = \frac{P_{\text{II}} \cdot p_{\text{II}}}{\sum_1^n P_j p_j} = \frac{0{,}35}{0{,}39} = 0{,}897;$$

$$Q_{\text{III}} = \frac{P_{\text{III}} \cdot p_{\text{III}}}{\sum_1^n P_j p_j} = \frac{0{,}03}{0{,}39} = 0{,}077.$$

Сумма вероятностей гипотез после испытания, так же как и до испытания, всегда должна быть равна единице:

$$\sum_1^n Q_i = 0{,}026 + 0{,}897 + 0{,}077 = 1.$$

Как видно из расчета, результат испытания в значительной степени изменил вероятности принятых гипотез. Теперь уже вероятность того, что средняя траектория проходит в пределах участка II, почти равна достоверности.

Формула гипотез дает основание по наивероятнейшей гипотезе принять наиболее целесообразное решение о порядке дальнейшего продолжения испытания, например, стрельбы.

Последовательное применение формулы полной вероятности и формулы гипотез позволяет дать обоснование целесообразного порядка стрельбы и расхода боеприпасов на выполнение той или иной задачи.

7. ВЕРОЯТНОСТЬ ПОЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЯ ХОТЯ БЫ ОДИН РАЗ ПРИ ПОВТОРЕНИИ ИСПЫТАНИЙ

Большинство огневых задач, выполняемых стрельбой из стрелкового оружия, решается при попадании в одиночную цель одной пулей. Поэтому при ведении огня несколькими выстрелами очень важно знать вероятность поражения цели хотя бы одной пулей.

Рассмотрим такой пример. По цели производится 5 выстрелов. Вероятность попадания при одном выстреле $p = 0{,}5$.

При 5 выстрелах ($n = 5$) можно получить одну из следующих шести комбинаций из попаданий и промахов: 1) 5 попаданий и 0 промахов; 2) 4 попадания и 1 промах; 3) 3 попадания и 2 промаха; 4) 2 попадания и 3 промаха; 5) 1 попадание и 4 промаха; 6) 0 попаданий и 5 промахов.

По условию примера безразлично, сколько будет попаданий и в каком порядке они произойдут; важно, чтобы при 5 выстрелах цель была поражена хотя бы одним попаданием. Из шести рассмотренных комбинаций в первых пяти имеется не менее одного попадания в каждой, и только в последней попаданий нет. Следовательно, вероятность появления события хотя бы один раз будет равна сумме вероятностей всех комбинаций, за исключением последней. Обозначим вероятность появления события хотя бы один раз через P_1. Вероятность последней комбинации, т. е. вероятность всех промахов, равна q^n, или $(1-p)^n$.

Поскольку $P_1 + q^n = 1$,

$$P_1 = 1 - q^n,$$

или

$$P_1 = 1 - (1-p)^n. \tag{54}$$

Решая по этой формуле наш пример, получим:

$$P_1 = 1 - (1-p)^n = 1 - (1-0{,}5)^5 \approx 0{,}969, \text{ или } 96{,}9\%.$$

Таким образом, вероятность появления данного события хотя бы один раз равна единице минус вероятность противоположного события в степени, равной числу произведенных испытаний.

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ИСПЫТАНИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПОЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЯ ХОТЯ БЫ ОДИН РАЗ С ЗАДАННОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ

Прологарифмировав выражение $P_1 = 1 - (1-p)^n$, определим значение n:

$$n \lg (1-p) = \lg (1-P_1);$$

$$n = \frac{\lg (1-P_1)}{\lg (1-p)}. \tag{55}$$

Пример. Стрельба ведется из автомата. Вероятность попадания в цель при одном выстреле $p = 0{,}3$. Определить необходимое число выстрелов, чтобы вероятность поражения цели хотя бы одной пулей была не менее 80%.

Р е ш е н и е. По формуле (55) найдем:

$$n = \frac{\lg (1-P_1)}{\lg (1-p)} = \frac{\lg (1-0{,}8)}{\lg (1-0{,}3)} = \frac{\bar{1},3010}{\bar{1},8451} = \frac{-0{,}6990}{-0{,}1549} \approx 4{,}5.$$

Так как число выстрелов не может быть дробным, выбираем ближайшее большее целое к 4,5; $n = 5$. Это означает, что в сред-

нем при производстве многих стрельб сериями по 5 выстрелов на каждые 100 стрельб в 80 случаях будет приходиться не менее чем по одному попаданию, а в 20 случаях будут промахи.

9. СЛУЧАЙНАЯ ВЕЛИЧИНА. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Величина, принимающая в результате испытаний то или иное численное значение, заранее неизвестно, какое именно, в теории вероятностей называется **случайной величиной.**

Например, число m попаданий при n выстрелах, отклонение данной точки падения снаряда от средней точки падения, случайная ошибка измерения являются случайными величинами.

Применение случайной величины имеет большое значение в теории вероятностей. При необходимости каждое событие может быть связано с определенной случайной величиной. Так, например, ошибка измерения рассматривается в виде случайной величины — отклонения результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Для характеристики случайной величины надо знать все численные значения, которые она способна принимать, и вероятность каждого из этих значений или группы их. Однако на практике не всегда возможно характеризовать случайную величину полностью. Чаще всего приходится пользоваться некоторыми средними характеристиками случайной величины.

Одной из таких характеристик случайной величины является среднее ожидаемое значение или **математическое ожидание случайной величины.**

Рассмотрим сначала вопрос о **среднем значении** случайной величины, полученной из опыта.

Допустим, что производится в одинаковых условиях 10 стрельб по 5 выстрелов в каждой. Результат стрельб следующий: в трех стрельбах имеется по 5 попаданий; в четырех стрельбах — по 4 попадания; в двух стрельбах — по 3 попадания и в одной стрельбе — только 1 попадание.

Спрашивается: сколько попаданий приходится в среднем на одну стрельбу?

Обозначим среднее значение этой случайной величины через $x_{ср}$:

$$x_{ср} = \frac{5 \cdot 3 + 4 \cdot 4 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 1}{10} = 3{,}8 \text{ попадания.}$$

Решение можно записать иначе:

$$x_{ср} = 5 \cdot \frac{3}{10} + 4 \cdot \frac{4}{10} + 3 \cdot \frac{2}{10} + 1 \cdot \frac{1}{10} = 3{,}8 \text{ попадания.}$$

Числа 5, 4, 3, 1 есть частные значения количества попаданий, т. е. частные значения данной случайной величины. Дроби $\frac{3}{10}$, $\frac{4}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{1}{10}$ —частоты этих частных значений случайной величины.

Обозначив частные значения случайной величины через x_1, $x_2, \ldots, x_n$, а через w_1, $w_2, \ldots, w_n$ — соответствующие частоты появления этих частных значений, предыдущее выражение можно записать в общем виде:

$$x_{ср} = x_1 w_1 + x_2 w_2 + \ldots + x_n w_n. \qquad (56)$$

Таким образом, среднее значение случайной величины, полученной из опыта, определяется как сумма произведений частных значений данной случайной величины на соответствующие им частоты.

Но при большом числе испытаний частота колеблется около вероятности данного события; поэтому можно считать, что среднее ожидаемое значение случайной величины, т. е. математическое ожидание, будет равно сумме произведений частных значений случайной величины на соответствующие им вероятности.

Обозначив математическое ожидание через $M(x)$, запишем формулу:

$$M(x) = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \ldots + x_n p_n, \qquad (57)$$

где x_1, $x_2, \ldots$ — частные значения случайной величины;

p_1, $p_2, \ldots$ — вероятности появления этих частных значений случайной величины (x).

При определении $M(x)$ надо иметь в виду, что сумма вероятностей $p_1 + p_2 + \ldots + p_n = 1$, как сумма вероятностей событий, составляющих полную систему.

Математическое ожидание — число всегда именованное, может выражаться положительными и отрицательными числами, в зависимости от знака и размерности частных значений случайной величины.

Пример. Стрелок ведет стрельбу из пистолета по спортивной мишени № 4. Будучи хорошо подготовлен, он не выпускает из черного круга ни одной пули. Вероятность попадания в «десятку» $p_1 = 0{,}15$, в «девятку» $p_2 = 0{,}30$; в «восьмерку» $p_3 = 0{,}35$ и в «семерку» $p_4 = 0{,}20$.

Определить математическое ожидание числа выбитых очков при одном выстреле.

Решение. Проверим, все ли частные значения случайной величины учтены:

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 0{,}15 + 0{,}30 + 0{,}35 + 0{,}20 = 1.$$

Теперь можно сказать, что случайная величина может принимать следующие частные значения: $x_1 = 10$ очков, $x_2 = 9$ очков, $x_3 = 8$ очков и $x_4 = 7$ очков.

Поэтому

$$M(x) = x_1 p_1 + x_2 p_2 + x_3 p_3 + x_4 p_4 = 10 \cdot 0{,}15 + 9 \cdot 0{,}30 + 8 \cdot 0{,}35 + 7 \cdot 0{,}20 =$$
$$= 1{,}5 + 2{,}7 + 2{,}8 + 1{,}4 = 8{,}4 \text{ очка}.$$

Это означает, что при данных условиях стрельбы можно ожидать в среднем по 8,4 очка на каждый выстрел. Если будет произведено, например, 5 выстрелов в этих условиях, то среднее ожидаемое число очков будет равно

$$5 \cdot 8{,}4 = 42 \text{ очка}.$$

В стрелковой практике большое значение имеет определение математического ожидания случайной величины противоположных событий.

Допустим, что по фигурной мишени производится один выстрел. Вероятность попадания равна p. Определить математическое ожидание числа попаданий. Очевидно, что при одном выстреле случайная величина — число попаданий — может принимать только два частных значения: $x_1 = 1$ попаданию и $x_2 = 0$ попаданий. Вероятность попадания равна $p_1 = p$, а вероятность промаха равна $p_2 = q$. Следовательно,

$$M(x) = x_1 p_1 + x_2 p_2 = 1 \cdot p + 0 \cdot q = p \text{ попаданий,}$$

т. е. математическое ожидание числа появлений одного из противоположных событий при одном испытании численно равно вероятности этого события.

Указание на численное равенство сделано потому, что вероятность — число неименованное, а математическое ожидание — величина именованная, размерность его та же, что и частных значений случайной величины.

Математическое ожидание часто обозначают через a. Тогда предыдущее выражение можно записать: $a_1 = p$.

Пример. Вероятность попадания при одном выстреле $p = 0{,}5$. Определить математическое ожидание числа попаданий при одном выстреле. Согласно вышеизложенному $a_1 = p = 0{,}5$ попадания.

Необходимо отметить, что число попаданий не может быть дробным. Результат $a_1 = 0{,}5$ попадания означает среднее ожидаемое значение числа попаданий, приходящееся на один выстрел при большом числе испытаний.

При двух и более испытаниях математическое ожидание уже не равно вероятности появления случайной величины при одном испытании. Допустим, что вероятность попадания при одном выстреле равна p, вероятность промаха равна q. Определить математическое ожидание числа попаданий при двух выстрелах.

Найдем частные значения переменной величины x и их вероятности.

$x_1 = 2$ попаданиям; вероятность двух попаданий при двух выстрелах как сложного события определим по правилу умножения:

$$p_2 = p \cdot p = p^2.$$

$x_2 = 1$ попаданию; но одно попадание при двух выстрелах может получиться в различной последовательности:

1) при первом выстреле может быть попадание и при втором промах; вероятность этой последовательности будет равна $p \cdot q$;

2) при первом выстреле может быть промах и при втором попадание; вероятность данной последовательности равна $q \cdot p$.

Поскольку нам безразлично, какая последовательность будет иметь место, вероятность одного попадания при двух выстрелах найдем по правилу сложения:

$$p \cdot q + p \cdot q = 2pq.$$

Таким образом:

$$p_2 = 2pq.$$

$x_3 = 0$; вероятность этого, т. е. двух промахов при двух выстрелах, равна:

$$p_3 = q \cdot q = q^2.$$

Подставив полученные значения в формулу (57), получим:

$$M(x) = a_2 = x_1 \cdot p^2 + x_2 \cdot 2pq + x_3 q^2 = 2 \cdot p^2 + 1 \cdot 2pq + 0 \cdot q^2 = \\ = 2p(p + q) = 2p.$$

В общем случае

$$a_n = np = na_1. \qquad (58)$$

Пример. Вероятность попадания при одном выстреле $p = 0{,}7$. Определить математическое ожидание числа попаданий при трех выстрелах.

Решение:

$$a_3 = 3p = 3 \cdot 0{,}7 = 2{,}1 \text{ попадания.}$$

Если несколько случайных величин определяют конечный результат испытания, то математическое ожидание суммы таких величин равно сумме математических ожиданий этих величин. В качестве примера можно взять стрельбу нескольких минометов по одной цели, когда математическое ожидание числа попаданий в цель находится как сумма математических ожиданий числа попаданий для каждого миномета.

ГЛАВА IX

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ОШИБОК

1. ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ

В стрелково-артиллерийской практике часто прибегают к измерению различных величин. Чаще всего приходится измерять расстояния до целей, углы между ориентиром и целью, отклонения разрывов снарядов (мин) относительно цели.

При измерении какой-либо величины любым способом мы каждый раз получаем какой-то приближенный результат, который в той или иной мере отличается от истинного значения измеряемой величины. Иначе говоря, мы каждый раз допускаем какую-то ошибку, зависящую от способа измерения и от степени подготовленности измеряющего.

Разность между полученным (приближенным) результатом измерения и истинным значением измеряемой величины называется **ошибкой измерения.**

$$x_i - x_0 = \Delta_i, \tag{59}$$

где x_0 — истинное значение измеряемой величины;

x_i — результат отдельного измерения;

Δ_i — ошибка результата измерения.

Ошибки характеризуются абсолютной величиной и знаком. Чем меньше абсолютная величина ошибки, т. е. чем ближе отдельный результат измерения к истинному значению измеряемой величины, тем точнее произведено данное измерение. Если $x_i > x_0$, ошибка будет **положительной**, если $x_i < x_0$, ошибка будет **отрицательной**.

Ошибки могут быть систематические (постоянные) и случайные.

Систематические ошибки получаются в результате постоянно действующих причин или источников (для данного способа или прибора измерения) и имеют всегда постоянное значение как по величине, так и по знаку. Влияние таких причин может быть заранее известно, поэтому и ошибки, получаемые в результате их, легко устранимы. Например, пусть нам известно, что двухметровый полевой циркуль имеет погрешность в меньшую сторону на 4 *см* (истинная величина раствора ног меньше 2 *м* на 0,04 *м*). Зная это, результат измерения таким циркулем легко исправить, уменьшив на 2%.

Случайные ошибки получаются в результате взаимодействия многих причин или источников ошибок. Каждый из этих источников дает так называемую **элементарную ошибку**, имеющую при данном измерении случайный характер как по величине, так и по знаку. При каждом измерении комбинации элементарных ошибок могут быть весьма различными, поэтому и результирующие ошибки при большом числе измерений могут иметь весьма различные случайные значения. Заранее учесть и устранить такие ошибки не представляется возможным.

Случайными называются такие ошибки, которые являются результатом взаимодействия многих источников ошибок и при каждом новом измерении получают те или другие случайные значения.

Случайные ошибки и являются предметом нашего дальнейшего изучения. Раздел теории вероятностей, изучающий общие закономерности, которым подчинены появление и взаимосвязи случайных ошибок, называется **теорией случайных ошибок** или просто **теорией ошибок.**

2. НОРМАЛЬНЫЙ ЗАКОН ОШИБОК

Из теории вероятностей известно, что случайные явления при большом числе испытаний обнаруживают некоторую закономерность. Так происходит и со случайными ошибками.

При большом числе измерений появление случайных ошибок подчиняется определенному закону, который выражает зависимость между величиной ошибки и частотой ее появления. Из теории вероятностей также известно, что при достаточно большом числе опытов частота события очень мало отличается от вероятности события. На основании этого можно сказать, что между величиной и знаком случайной ошибки и вероятностью ее получения также существует определенная зависимость.

Зависимость между абсолютной величиной и знаком случайной ошибки и вероятностью ее получения называется **законом случайных ошибок.**

Ошибки могут подчиняться различным законам. Наибольший интерес для нас представляет нормальный закон ошибок (или, как его называют иногда, закон Гаусса), так как этому закону подчиняются ошибки большинства измерений, применяемых в стрелково-артиллерийской практике.

Закон, которому подчиняются ошибки того или иного способа измерения, можно выявить аналитическим и экспериментальным способом. В дальнейшем излагается только экспериментальный способ выявления закона ошибок — на основе опытных данных.

Положим, что произведено 100 измерений одного и того же расстояния способом засечки с двух наблюдательных пунктов. Пусть истинное расстояние равно 1000 *м*. Определим ошибки всех результатов измерения и данные сведем в таблицу (табл. 11).

Таблица 11

i	x_i	Δ_i	i	x_i	Δ_i	i	x_i	Δ_i	i	x_i	Δ_i	i	x_i	Δ_i
1	972	— 28	21	926	— 74	41	1053	+ 53	61	980	— 20	81	1082	+ 82
2	1063	+ 63	22	959	— 41	42	959	— 41	62	1097	+ 97	82	979	— 21
3	976	— 24	23	1021	+ 21	43	1107	+107	63	1038	+ 38	83	1046	+ 46
4	963	— 37	24	886	—114	44	1025	+ 25	64	992	— 8	84	989	— 11
5	1089	+ 89	25	914	— 86	45	937	— 63	65	937	— 63	85	1071	+ 71
6	967	— 33	26	1008	+ 8	46	1093	+ 93	66	1034	+ 34	86	1112	+112
7	1105	+105	27	986	— 14	47	1017	+ 17	67	888	—112	87	983	— 17
8	951	— 49	28	1049	+ 49	48	978	— 22	68	944	— 56	88	1075	+ 75
9	935	— 65	29	1019	+ 19	49	1007	+ 7	69	1024	+ 24	89	995	— 5
10	1008	+ 8	30	980	— 20	50	954	— 46	70	1005	+ 5	90	1028	+ 28
11	1032	+ 32	31	1018	+ 18	51	947	— 53	71	998	— 2	91	1070	+ 70
12	1124	+124	32	930	— 70	52	990	— 10	72	1029	+ 29	92	969	— 31
13	977	— 23	33	944	— 56	53	1001	+ 1	73	1072	+ 72	93	988	— 12
14	948	— 52	34	1013	+ 13	54	1062	+ 62	74	897	—103	94	1064	+ 64
15	1059	+ 59	35	994	— 6	55	1038	+ 38	75	1074	+ 74	95	973	— 27
16	1012	+ 12	36	1036	+ 36	56	879	—121	76	1044	+ 44	96	1039	+ 39
17	973	— 27	37	908	— 92	57	965	— 35	77	987	— 13	97	1022	+ 22
18	1057	+ 57	38	919	— 81	58	922	— 78	78	1047	+ 47	98	883	—117
19	939	— 61	39	1074	+ 74	59	1039	+ 39	79	995	— 5	99	1067	+ 67
20	969	— 31	40	1052	+ 52	60	963	— 37	80	1086	+ 86	100	971	— 29

Чтобы установить зависимость между величиной и знаком случайной ошибки и частотой ее появления, произведем группировку полученных ошибок. Как отрицательные, так и положительные ошибки разобьем на группы по их величине через каждые 30 *м*, после чего подсчитаем количество ошибок в каждой группе. Данные этих подсчетов сведем в таблицу (табл. 12).

Таблица 12

Величина ошибок, *м* от до	Отрицательные ошибки (—)					Положительные ошибки (+)				
	—120 —150	— 90 —120	—60 —90	—30 —60	0 —30	0 +30	+30 +60	+60 +90	+ 90 +120	+120 +150
Количество ошибок . .	1	5	9	14	21	16	15	13	5	1
Частота получения ошибок, %	1	5	9	14	21	16	15	13	5	1

На основании данных этой таблицы построим график зависимости между величиной ошибки и частотой ее появления. Для этого на горизонтальной оси (рис. 95) от точки O в обе стороны отложим в условном масштабе ошибки величиной 30 *м*. По вертикальной оси OY отложим, тоже в условном масштабе, частоты появления этих ошибок, выраженные в процентах. Получаем ряд прямоугольников, площади которых наглядно характеризуют частоту появления ошибок в заданных по величине и знаку пределах.

Для примера мы взяли только 100 ошибок. Это число недостаточно велико для того, чтобы можно было полностью установить закономерности появления случайных ошибок. Однако и в этом случае некоторые выводы можно сделать. Так, например, из рисунка видно, что ошибки, имеющие меньшую величину, появляются

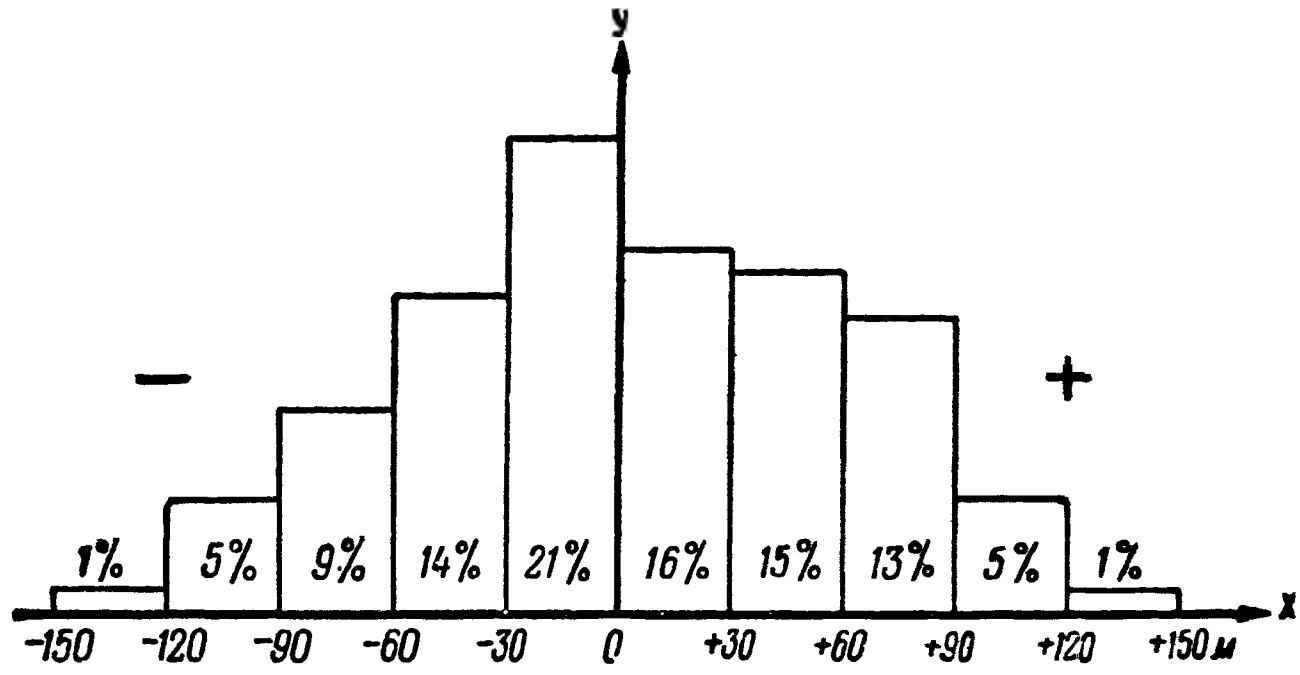


Рис. 95. Частный случай распределения ошибок при измерении расстояния

чаще, а ошибки, имеющие большую величину, появляются реже. Кроме того, имеется основание сказать, что число ошибок в бо́льшую и меньшую сторону примерно одинаково.

Теперь рассмотрим опытные данные большого числа измерений расстояний глазомером. В предыдущем примере мы взяли 100 ошибок, полученных при измерении одного и того же расстояния, и все полученные ошибки выразили в метрах. Теперь возьмем опытные данные измерения разных расстояний. Практикой установлено, что ошибки измерения расстояний глазомером по своей величине прямо

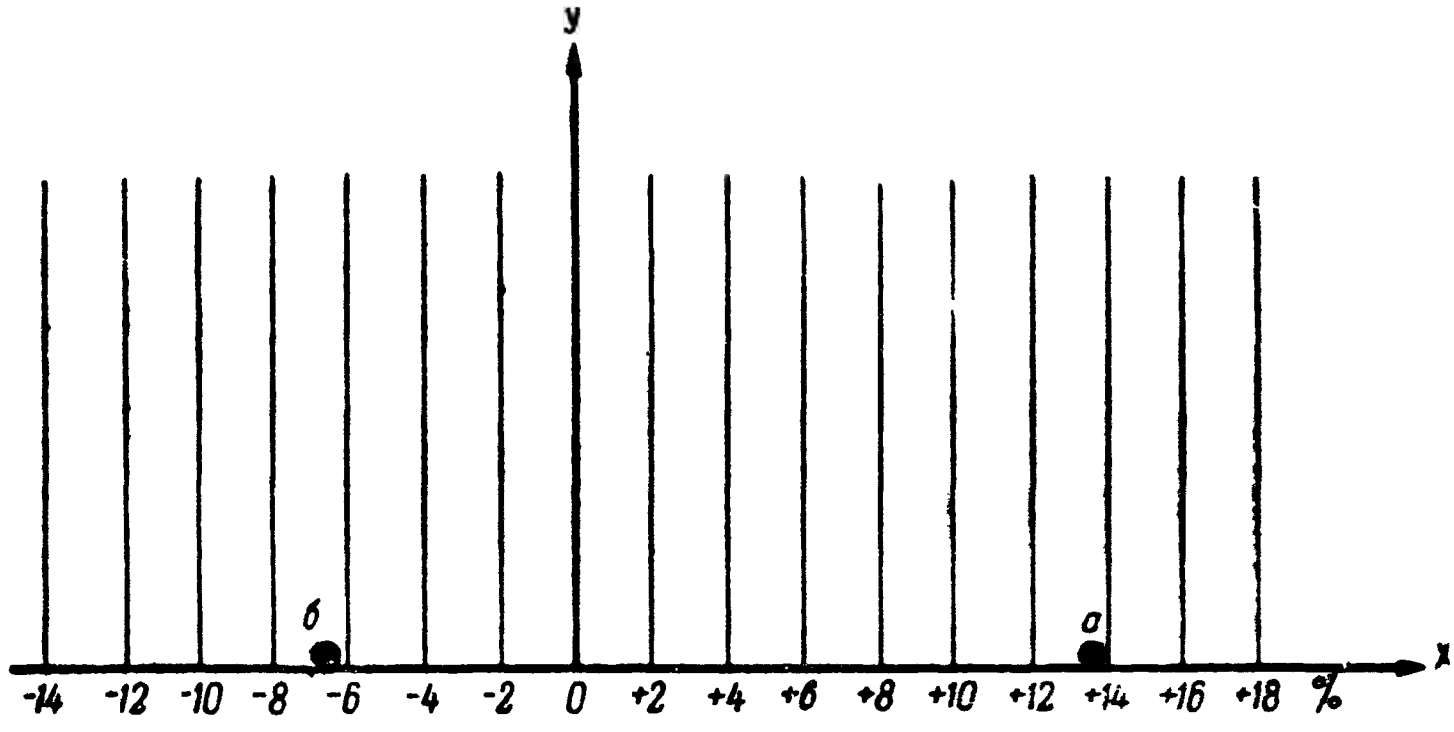


Рис. 96. Обработка результатов большого числа измерений

пропорциональны измеряемым расстояниям. На основании этого величину ошибок всех измерений можно выражать не в метрах, а в процентах по отношению к истинным значениям измеряемых расстояний.

Для обработки и группирования получаемых ошибок подготовим график. Часть этого графика показана на рис. 96. В правой части графика будем группировать ошибки положительные, а в левой — отрицательные. На оси OX в обе стороны от точки O в условном масштабе отложим пределы ошибок через каждые 2%. Порядок группирования ошибок поясним на примерах.

Пример 1. Истинное расстояние до цели $x_0 = 747$ *м* (измерено наиболее точным способом — мерной лентой, засечками с нескольких пунктов, дальномером и т. п.). Результат отдельного измерения $x_i = 850$ *м*. Следовательно, ошибка данного результата измерения

$$\Delta_i = x_i - x_0 = 850 - 747 = +103 \text{ м},$$

что составляет

$$\frac{103 \cdot 100}{747} \approx +13{,}8\%.$$

Значение этой ошибки отмечаем в графике в точке *а*.

Пример 2. Истинное расстояние до цели $x_0 = 685$ *м*. Результат отдельного измерения $x_i = 640$ *м*. Ошибка данного результата измерения

$$\Delta_i = x_i - x_0 = 640 - 685 = -45 \text{ м},$$

что составляет

$$-\frac{45 \cdot 100}{685} \approx -6{,}6\%.$$

Значение этой ошибки отмечаем в графике в точке *б*.

Положим, что нам удалось учесть достаточно большое число ошибок и их значения сгруппировать на графике указанным выше способом. По частотам полученных ошибок, приходящихся на каждую группу, в условном масштабе построим прямоугольники с одинаковыми основаниями (рис. 97).

Рассматривая полученный график, можно установить следующие положения, характеризующие зависимость между величиной и знаком ошибки и частотой ее получения.

1. **Чем больше ошибка, тем меньше частота ее получения.** Это положение подтверждается тем, что по мере увеличения ошибок высоты прямоугольников становятся все меньше и меньше.

2. **Частоты появления ошибок отрицательных и положительных, заключенных в равных по величине пределах, примерно равны между собой.** Это видно из того, что прямоугольники, равноудаленные от оси OY, имеют примерно одинаковые высоты.

3. **Для каждого способа измерения существует свой предел ошибок.** Из рис. 97 видно, что прямоугольники, соответствующие частотам предельных ошибок, стремятся слиться с осью OX.

В рассмотренном примере все полученные ошибки были распределены по группам по их величине через каждые 2% дальности, в результате чего мы получили ступенчатый график частот ошибок. Число ступенек и их размеры зависят от того, какими по величине пределами ошибок мы зададимся при построении графика. Чем меньше будут пределы ошибок, тем больше будет ступенек и меньше их размеры (при одном и том же масштабе построения

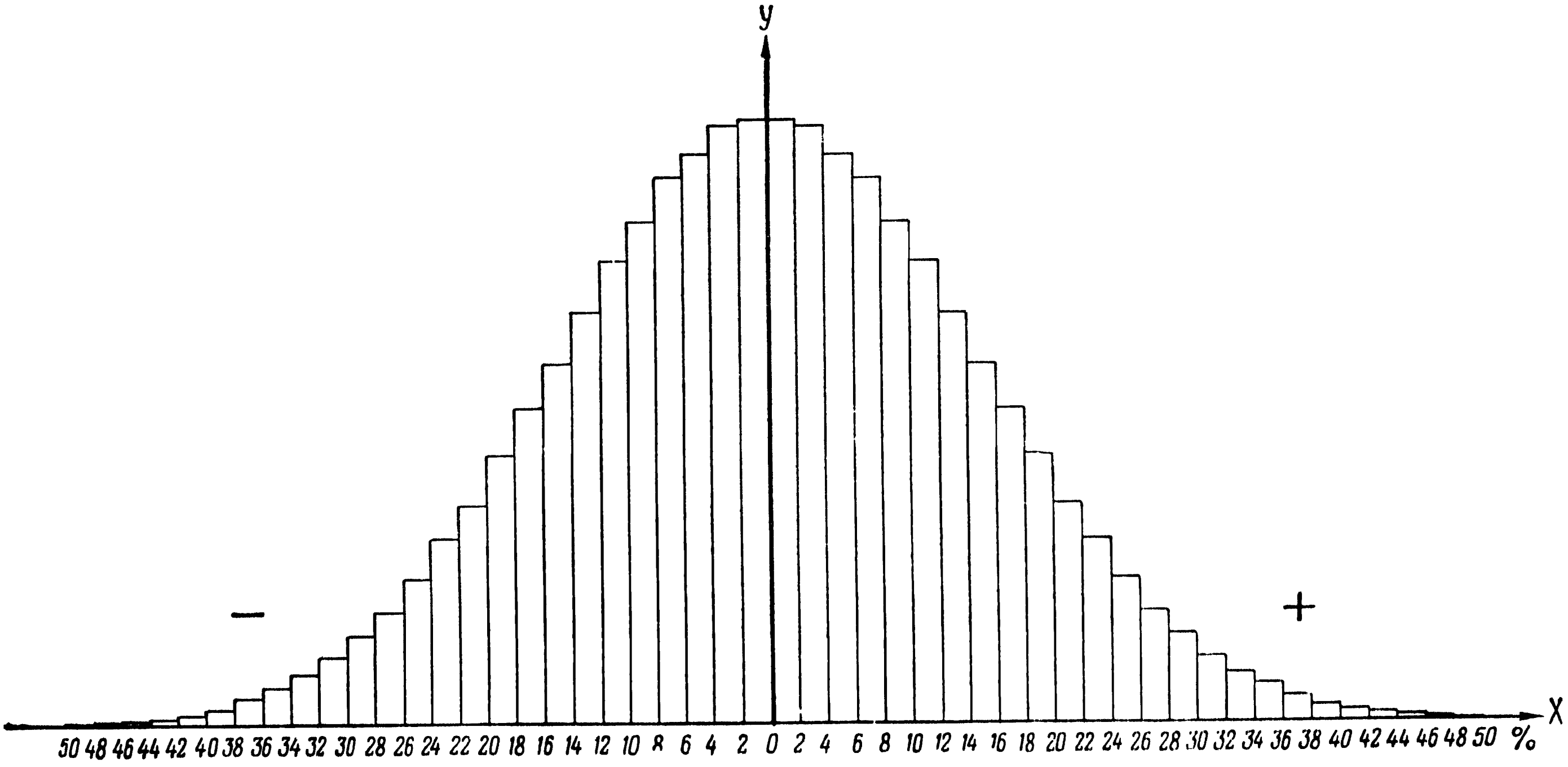


Рис. 97. Распределение большого числа ошибок при измерении расстояний глазомером

графика). С уменьшением пределов ошибок до бесконечности (при достаточно большом числе ошибок) ступенчатая кривая будет постепенно сглаживаться, превращаясь в плавную кривую *АБВ* (рис. 98).

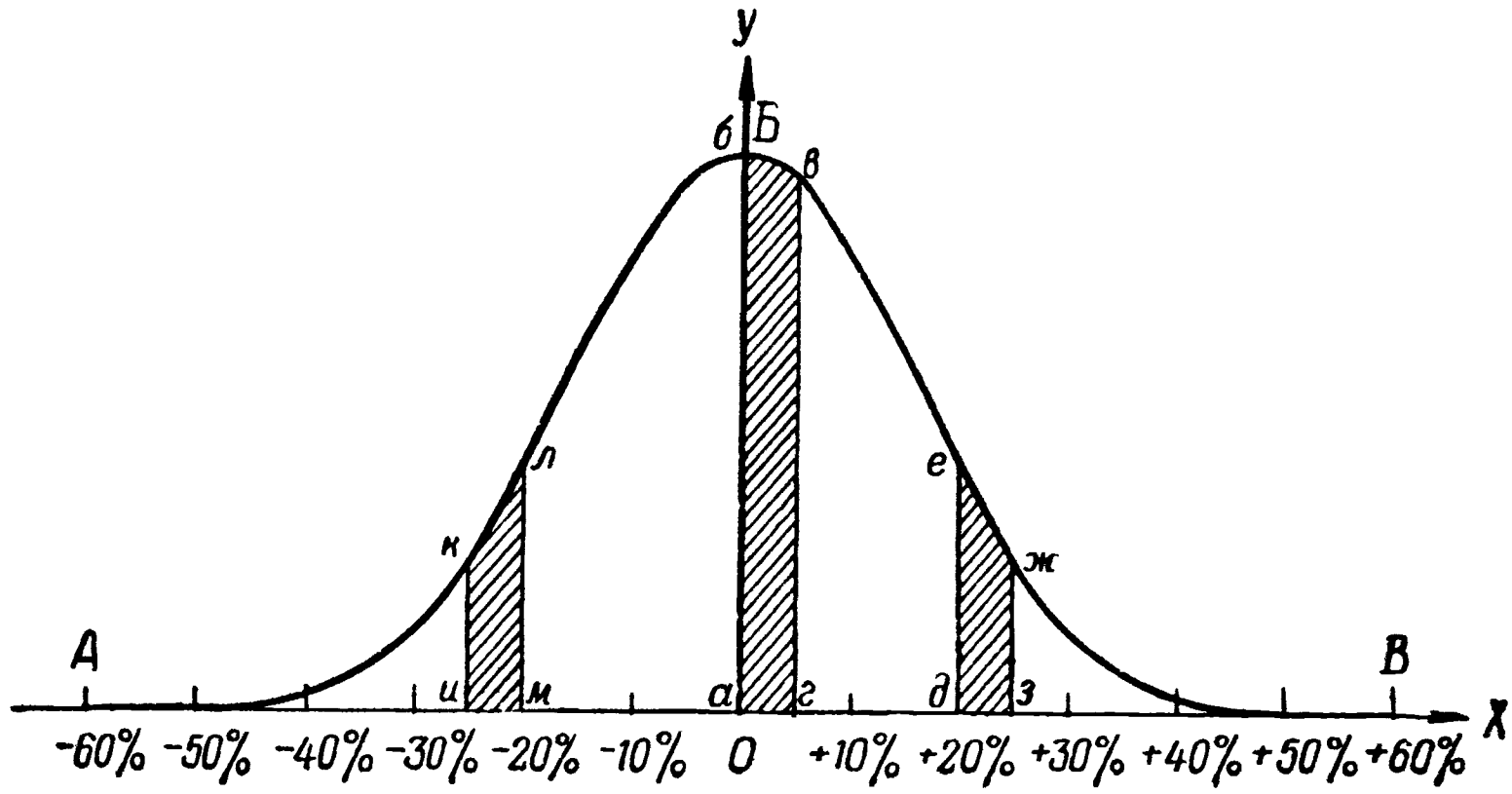


Рис. 98. Кривая, характеризующая нормальный закон случайных ошибок

Так как все наши рассуждения построены на примере достаточно большого числа ошибок, кривую *АБВ* можно считать графическим выражением нормального закона ошибок, характеризующегося следующими тремя положениями:

1. **С увеличением ошибки вероятность ее получения уменьшается, и, наоборот, чем меньше ошибка, тем больше ее вероятность.**

2. **Равные по абсолютной величине, но разные по знаку ошибки равновероятны** — вероятность получения ошибки положительной равна вероятности получения ошибки отрицательной, равной первой по абсолютной величине.

3. **Для каждого способа измерения существует свой предел ошибок**; ошибки, превышающие по своей величине этот предел, настолько маловероятны, что практически ими обычно пренебрегают.

Эти три положения закона ошибок можно коротко сформулировать так: ошибки распределяются **неравномерно, симметрично и небеспредельно.**

Из рис. 98 видно, что ошибки измерения не выходят за пределы *АВ,* следовательно, вероятность получения ошибки в этих пределах равна 1 (единице), или 100%. На основании этого площадь, ограниченную кривой *АБВ*, принимаем равной 1 (единице), или 100%.

Вероятность получения ошибки в каких-либо меньших пределах будет меньше 1 (единицы), или 100%, во сколько раз, во сколько раз площадь, ограниченная соответствующими ординатами и частью кривой, меньше всей площади, ограниченной кривой *АБВ.* На основании этого мы можем сравнивать вероятности получения

ошибки в каких-либо заданных пределах, для чего нужно сравнить площади, соответствующие этим пределам.

Пример 1 (см. рис. 98). Вероятность получения ошибки в пределах от 0 до +5% меньше 1 (единицы) во столько раз, во сколько раз площадь *абвг* меньше площади, ограниченной кривой *АБВ*.

Пример 2. Вероятность получения ошибки в пределах от 0 до +5% больше вероятности получения ошибки в пределах от +20% до +25% во столько раз, во сколько раз площадь *абвг* больше площади *дежз*.

Пример 3. Вероятность получения ошибки в пределах от —20% до —25% равна вероятности получения ошибки в пределах от +20% до +25%, так как площадь *иклм* равна площади *дежз*.

3. СРЕДИННАЯ ОШИБКА. ШКАЛА ОШИБОК

В стрелково-артиллерийской практике часто приходится оценивать различные способы измерений по степени их точности. В качестве меры точности при этом применяются **средние ошибки:** средняя арифметическая, средняя квадратическая и срединная. Чаще всего приходится пользоваться **срединной ошибкой**, которая обозначается буквой *Е*.

Срединной ошибкой называется такая ошибка, которая по своей абсолютной величине больше каждой из ошибок одной половины и меньше каждой из ошибок другой половины всех ошибок, расположенных в ряд в возрастающем или убывающем порядке.

Исходя из этого определения, найдем срединную ошибку из 100 результатов измерений (см. табл. 11). Для этого абсолютные величины всех полученных ошибок расположим в возрастающем порядке (табл. 13). Так как мы имеем всего 100 измерений, то

Таблица 13

№	Δ	№	Δ	№	Δ	№	Δ	№	Δ
1	+ 1	21	+19	41	—33	61	—53	81	+ 74
2	— 2	22	—20	42	+34	62	+53	82	+ 75
3	— 5	23	—20	43	—35	63	—56	83	— 78
4	— 5	24	—21	44	+36	64	—56	84	— 81
5	+ 5	25	+21	45	—37	65	+57	85	+ 82
6	— 6	26	—22	46	—37	66	+59	86	— 86
7	+ 7	27	+22	47	+38	67	—61	87	+ 86
8	— 8	28	—23	48	+38	68	+62	88	+ 89
9	+ 8	29	—24	49	+39	69	—63	89	— 92
10	+ 8	30	—24	50	+39	70	—63	90	+ 93
11	—10	31	+25	51	—41	71	+63	91	+ 97
12	—11	32	—27	52	—41	72	+64	92	—103
13	—12	33	—27	53	+44	73	—65	93	+105
14	+12	34	—28	54	—46	74	+67	94	+107
15	—13	35	+28	55	+46	75	—70	95	—112
16	+13	36	—29	56	+47	76	+70	96	+112
17	—14	37	+29	57	—49	77	+71	97	—114
18	—17	38	—31	58	+49	78	+72	98	—117
19	+17	39	—31	59	—52	79	—74	99	—121
20	+18	40	+32	60	+52	80	+74	100	+124

срединная ошибка будет занимать место между 50-й и 51-й ошибками. Абсолютная величина 50-й ошибки равна 39 *м*, а 51-й — 41 *м*. Срединная ошибка рассматриваемого ряда измерений равна

$$\frac{39 + 41}{2} = 40 \text{ м}.$$

Она больше каждой ошибки первой половины ряда всех ошибок и меньше каждой ошибки второй половины этого ряда.

Теперь воспользуемся опытными данными большого числа ошибок, полученных при измерении различных расстояний и выраженных в процентах (см. рис. 98). Определим величину срединной ошибки измерения расстояний глазомером.

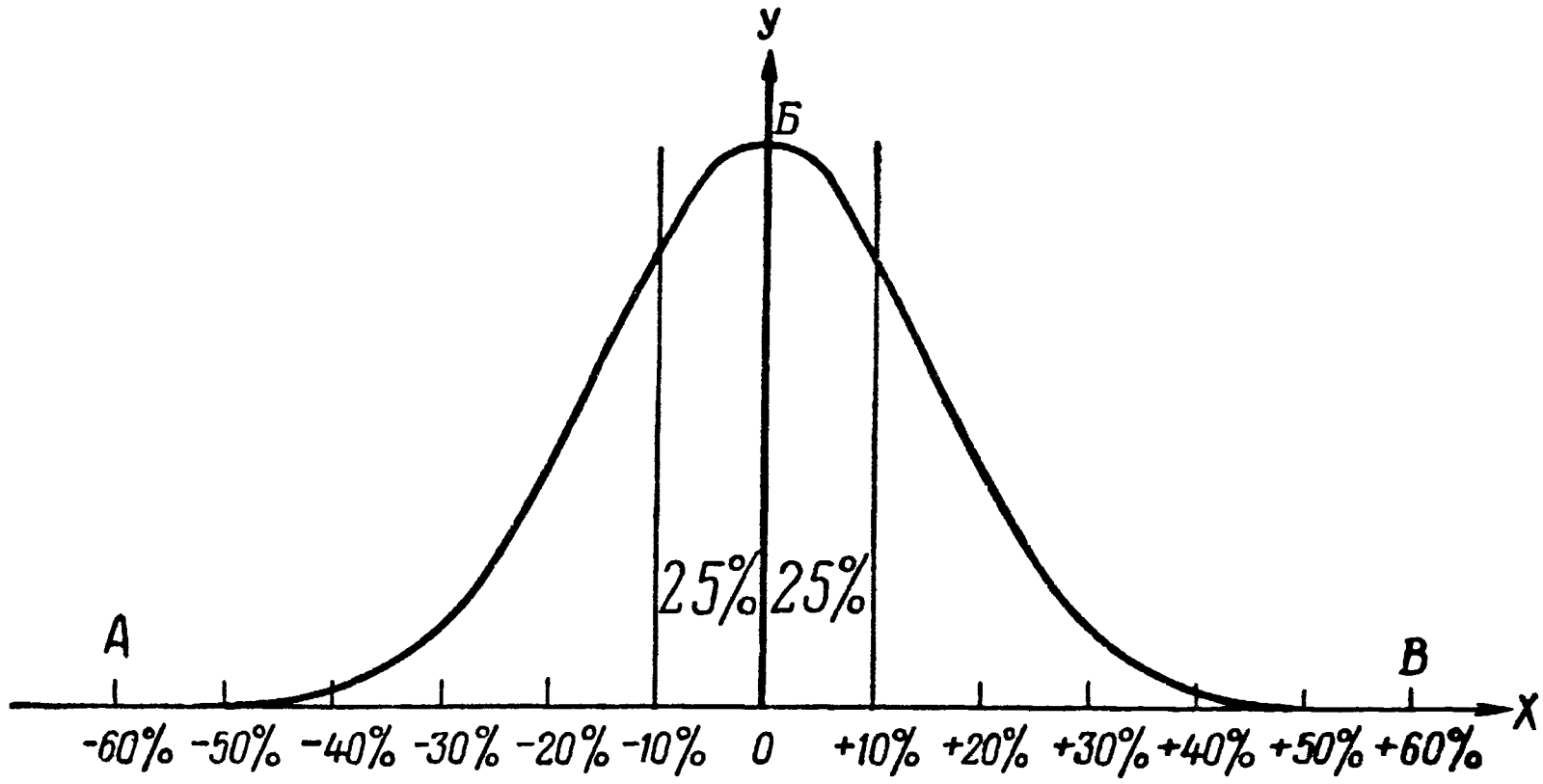


Рис. 99. Определение величины срединной ошибки путем отсчета лучшей половины ошибок

Положим, что число ошибок является достаточно большим, но конечным числом, поэтому мы можем сосчитать все ошибки.

В обе стороны от оси *OY* (рис. 99) отсчитаем по такому числу ошибок, которое составляло бы 25% от общего числа всех ошибок, и отделим их прямыми, параллельными этой оси. Получим две равные полосы, которые в сумме содержат лучшую половину всех ошибок. Из рисунка видно, что величина каждой из ошибок, входящих в эту половину, не превышает 10%. Остальная (худшая) половина всех ошибок находится за пределами этих двух полос. Каждая из ошибок худшей половины больше 10%. Следовательно, ошибка величиной 10% является срединной ошибкой измерения расстояний глазомером у данной группы людей.

Произведем группировку худшей половины всех ошибок через каждые 10% (через одну срединную ошибку), для чего в обе стороны от оси *OY* отложим еще ряд полос такой же ширины, как и первые (рис. 100). Подсчитаем число ошибок, оказавшихся в каждой полосе, и выразим его в процентах ко всему числу ошибок; при этом мы получим частоты получения ошибок в пределах,

выраженных в срединных ошибках. Если первые полосы содержат по 25% всех ошибок, то остальные полосы, по мере их удаления от оси, будут иметь по 16,1%; 6,7%; 1,8%; 0,3%; 0,1%.

Мы взяли достаточно большое число ошибок, при котором можем считать, что частота события равна вероятности события, поэтому график на рис. 100 характеризует **численное выражение**

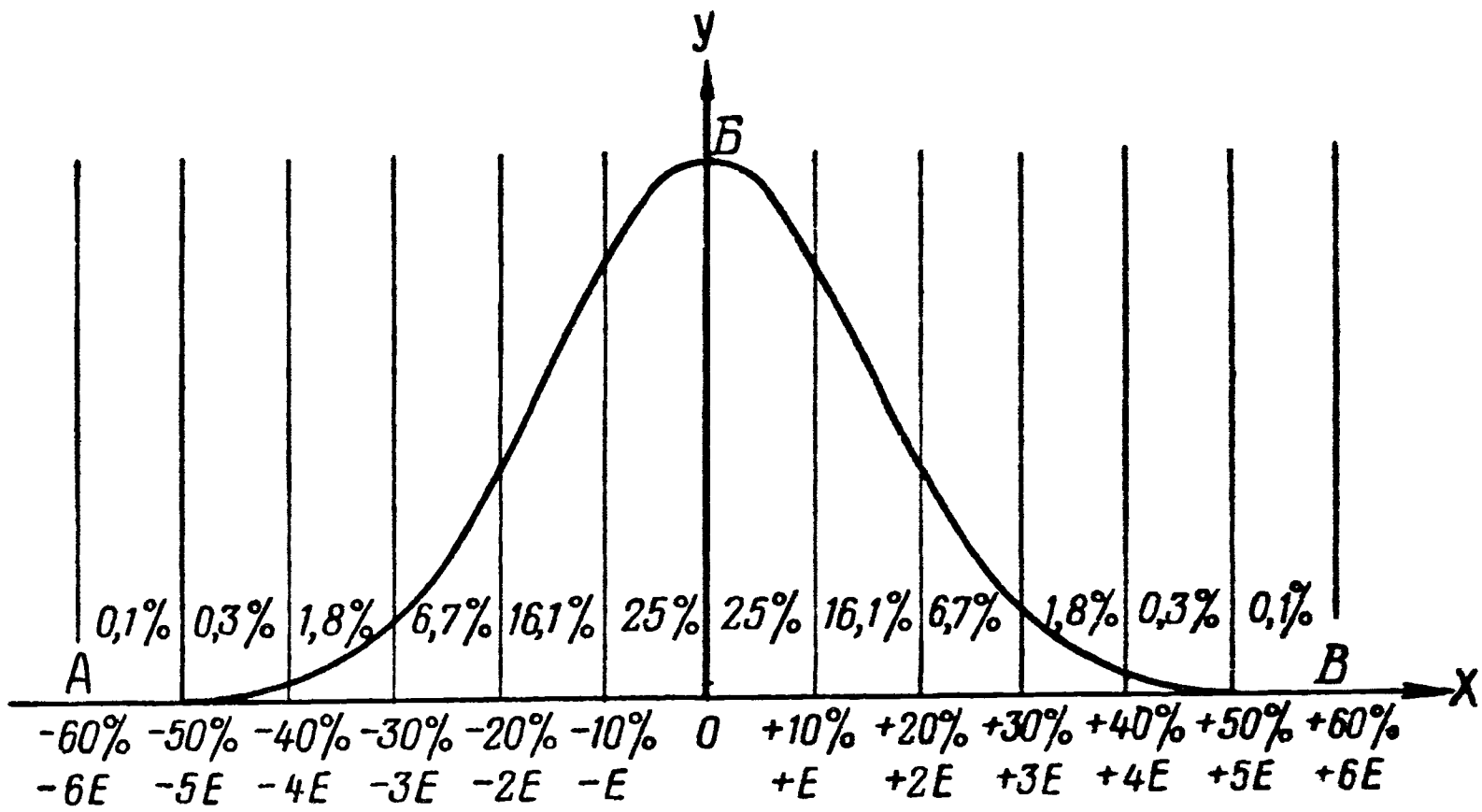


Рис. 100. Численное выражение нормального закона ошибок (на примере измерения расстояний глазомером, когда $E = 10\%$)

нормального закона ошибок; он показывает численную зависимость между величиной и знаком ошибок и вероятностями их получения. Так, например, на основании полученного графика мы можем сказать, что вероятность получения ошибки в пределах от нуля до $\pm 1E$

$$25\% + 25\% = 50\%;$$

в пределах от нуля до $\pm 2E$ равна

$$16{,}1\% + 25\% + 25\% + 16{,}1\% = 82{,}2\% \text{ и т. д.}$$

На основании данных рис. 100 можно сказать, что ошибки измерения по величине своей могут достигать $\pm 5E$ и даже $\pm 6E$. Но из этого же рисунка видно, что вероятность получения таких больших ошибок очень невелика. На самом деле, вероятность получения ошибки более $4E$ равна $2 \cdot (0{,}3\% + 0{,}1\%) = 0{,}8\%$. Это означает, что из 1000 измерений только в 8 случаях (в среднем) ошибка может быть больше $4E$. На основании этого и с целью упрощения расчетов такими ошибками часто пренебрегают, и нормальный закон ошибок с некоторыми округлениями численно выражают **шкалой ошибок** (рис. 101). В этих случаях практическим пределом ошибок для любого способа измерения принимают ошибку, равную $\pm 4E$.

Шкала ошибок на рис. 101 составлена в целых долях срединной ошибки E. Такую шкалу можно составить с любой точностью — в любых долях E. На рис. 102 дана шкала ошибок, которая позволяет определить вероятность получения ошибки в пределах с точностью до $^1/_2\,E$ и до $^1/_4\,E$. Так, например, вероятность получить ошибку:

в пределах $\pm^1/_2\,E$ равна $0{,}13 + 0{,}13 = 0{,}26$, или 26%;

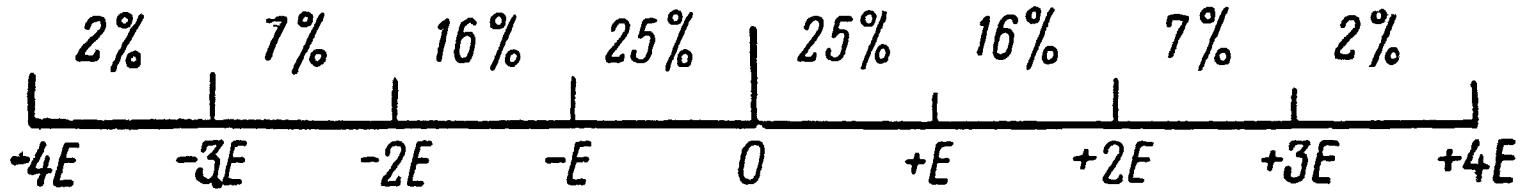


Рис. 101. Шкала ошибок с точностью до 1 E

в пределах $\pm 1^1/_4\,E$ равна $(0{,}25 + 0{,}051) \cdot 2 = 0{,}602$, или 60,2%;

в пределах от $-1^1/_2\,E$ до $+^1/_4\,E$ равна $0{,}09 + 0{,}25 + 0{,}067 = 0{,}407$, или 40,7%;

в пределах от $+^1/_2\,E$ до $+1^3/_4\,E$ равна $0{,}12 + 0{,}09 + 0{,}037 = 0{,}247$, или 24,7%.

0,02		0,07		0,16		0,25		0,25		0,16		0,07		0,02	
0,005	0,015	0,03	0,04	0,07	0,09	0,12	0,13	0,13	0,12	0,09	0,07	0,04	0,03	0,015	0,005
0,002	0,004	0,005	0,008	0,011	0,014	0,019	0,024	0,031	0,037	0,044	0,051	0,056	0,061	0,066	0,067
0,067	0,066	0,061	0,056	0,051	0,044	0,037	0,031	0,024	0,019	0,014	0,011	0,008	0,005	0,004	0,002
-4E		-3E		-2E		-E		0		+E		+2E		+3E	+4E

Рис. 102. Шкала ошибок с точностью до 0,25 E

При расчетах, требующих большой точности, пользуются шкалой ошибок, составленной с точностью до 0,01 E. Такая шкала имеет вид таблицы (см. приложение, табл. 2), где вероятность получения ошибки в пределах от $-\frac{\Delta}{E}$ до $+\frac{\Delta}{E}$ дается как функция этого предела. Пределы ошибки от $-\frac{\Delta}{E}$ до $+\frac{\Delta}{E}$ обозначим через β. Тогда общее выражение вероятности получения ошибки в заданных пределах будет иметь следующий вид:

$$p = \Phi(\beta), \tag{60}$$

где β — пределы ошибки от $-\frac{\Delta}{E}$ до $+\frac{\Delta}{E}$, или, что то же самое, пределы ошибки от 0 до $\pm\frac{\Delta}{E}$;

p — вероятность получения этой ошибки;

Φ (функция) — обозначение зависимости, связывающей β с p.

Как пользоваться таблицей, покажем на примерах.

Положим, что истинное расстояние до цели равно 800 *м*. Наблюдатель, измеряя это расстояние глазомером, допускает какую-то

ошибку. Срединная ошибка измерения равна 10%, что в данном случае составляет 80 *м*.

Решим несколько примеров по определению вероятности получения ошибки в заданных пределах.

Пример 1. Определить вероятность получения ошибки в пределах ±100 *м* (рис. 103).

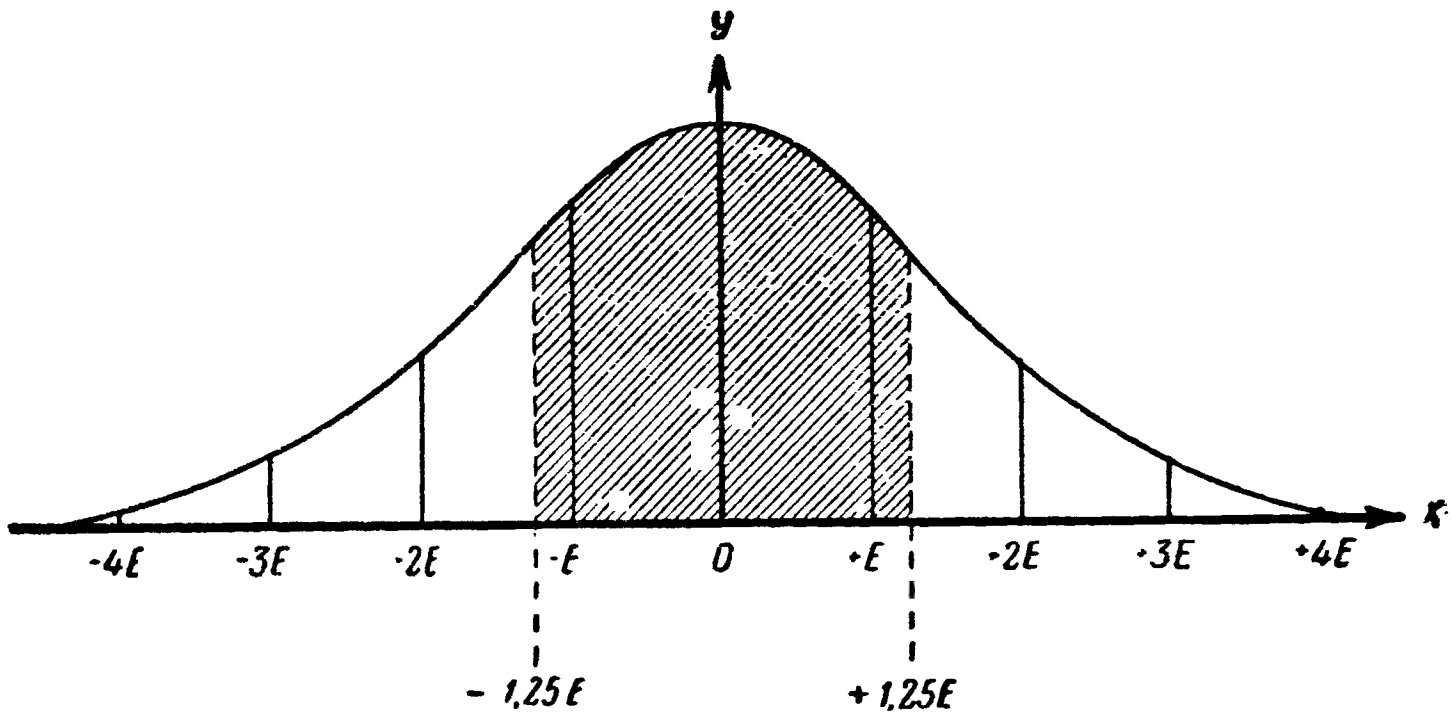


Рис. 103. Пределы ошибки от 0 до $\pm 1{,}25\,E$

Решение:

$$\beta = \pm \frac{\Delta}{E} = \pm \frac{100}{80} = \pm\, 1{,}25\,E.$$

Вероятность получения ошибки

$$p = \Phi(\beta) = \Phi(1{,}25\,E) = 0{,}601, \text{ или } 60{,}1\%.$$

Пример 2. Определить вероятность получения отрицательной ошибки в пределах от 0 до —124 *м* (рис. 104).

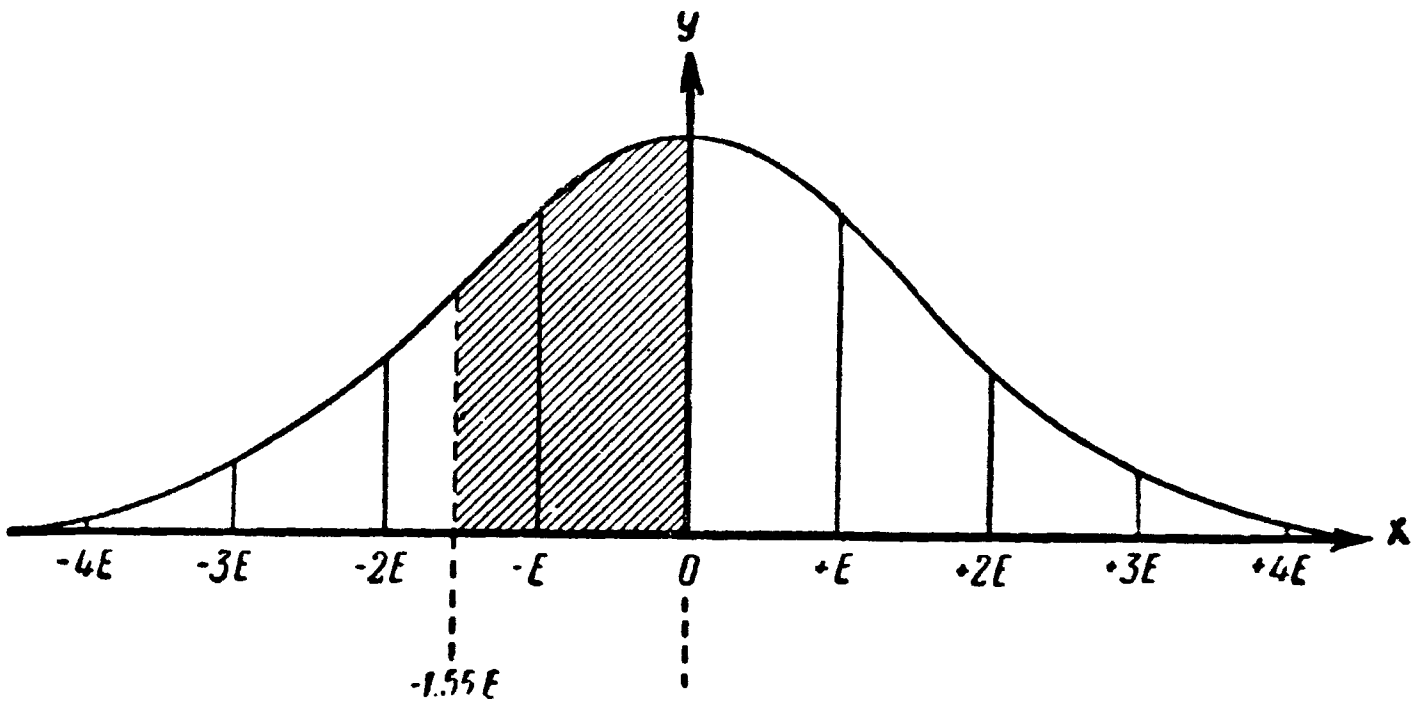


Рис. 104. Пределы ошибки от 0 до $-1{,}55\,E$

Решение:

$$\beta = \frac{\Delta}{E} = \frac{124}{80} = 1{,}55\,E.$$

Так как нас интересует только отрицательная ошибка, то вероятность ее получения

$$p = \frac{1}{2}\Phi(\beta) = \frac{1}{2}\Phi(1{,}55E) = \frac{1}{2}\cdot 0{,}704 = 0{,}352, \text{ или } 35{,}2\%.$$

Пример 3. Определить вероятность получения ошибки в пределах от —48 *м* до +116 *м* (рис. 105).

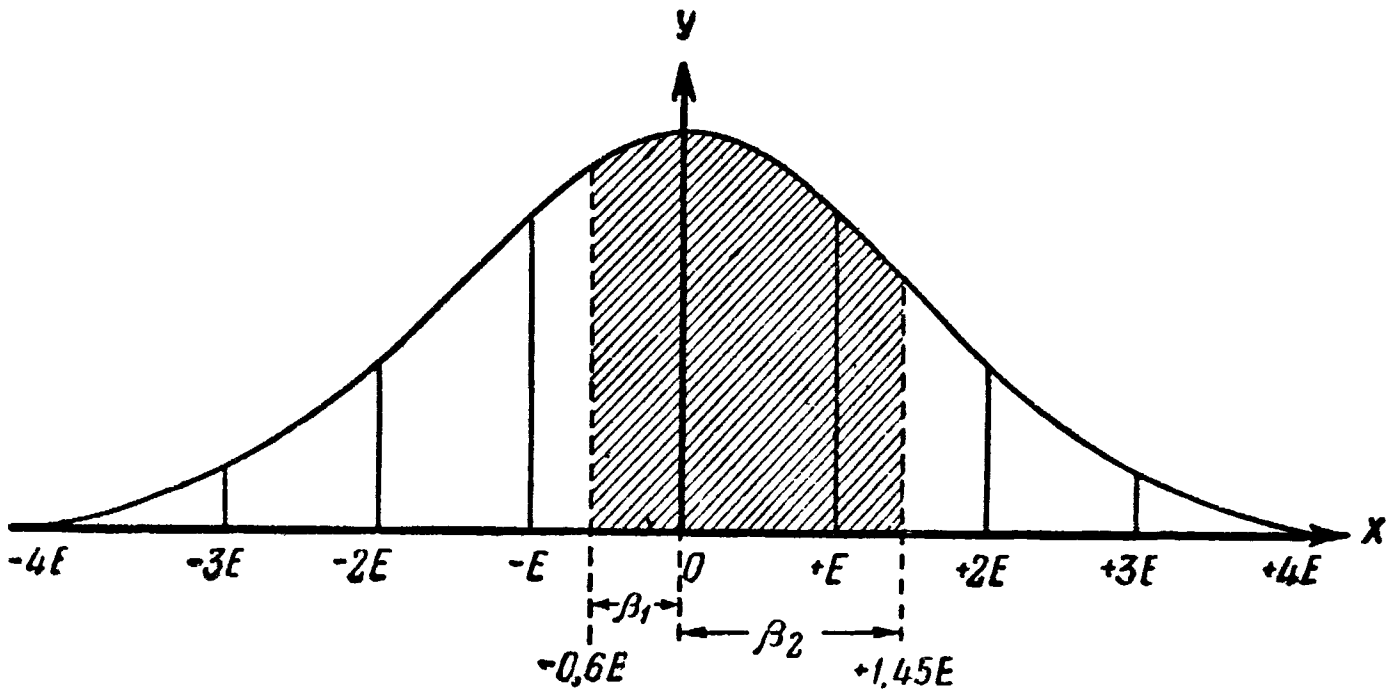


Рис. 105. Пределы ошибки от —0,6 E до +1,45 E

Р е ш е н и е:

$$\beta_1 = \frac{48}{80} = 0{,}6E;$$

$$\beta_2 = \frac{116}{80} = 1{,}45E;$$

$$p = \frac{1}{2}[\Phi(\beta_1) + \Phi(\beta_2)] = \frac{1}{2}[\Phi(0{,}6E) + \Phi(1{,}45E)] = \frac{1}{2}[0{,}314 + 0{,}672] =$$

$$= 0{,}493, \text{ или } 49{,}3\%.$$

Пример 4. Определить вероятность получения ошибки в пределах от +36 *м* до +96 *м* (рис. 106).

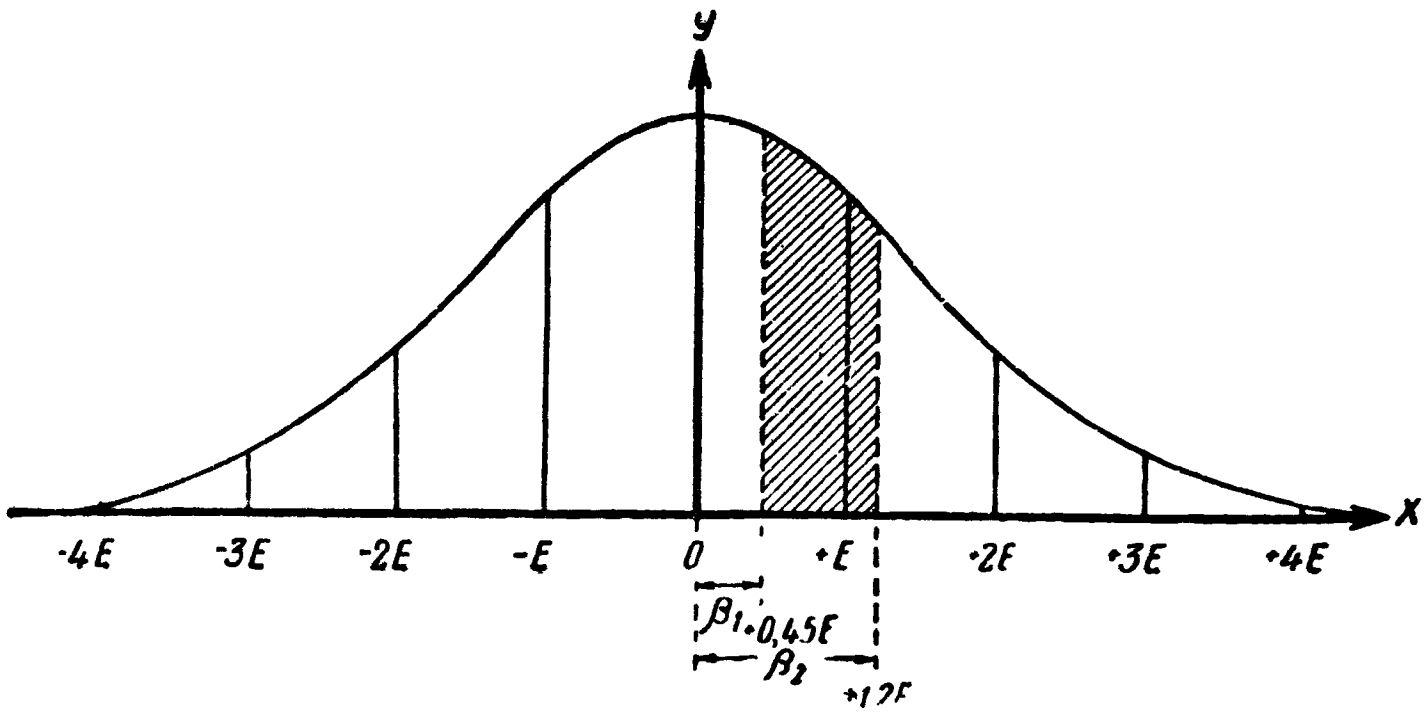


Рис. 106. Пределы ошибки от +0,45 E до +1,2 E

Решение:

$$\beta_1 = \frac{36}{80} = 0{,}45E;$$

$$\beta_2 = \frac{96}{80} = 1{,}2E;$$

$$p = \frac{1}{2}[\Phi(\beta_2) - \Phi(\beta_1)] = \frac{1}{2}[\Phi(1{,}2E) - \Phi(0{,}45E)] = \frac{1}{2}[0{,}582 - 0{,}239] \approx$$

$$\approx 0{,}172, \text{ или } 17{,}2\%.$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДИННОЙ ОШИБКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ СРЕДИННОЙ, СРЕДНЕЙ АРИФМЕТИЧЕСКОЙ И СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧЕСКОЙ ОШИБКАМИ

Выше, определяя величину ошибок, мы предполагали, что нам известно истинное значение измеряемой величины. На практике, приступая к измерению какой-либо величины, мы не знаем ее истинного значения; в противном случае не возникало бы надобности в измерениях. Поэтому, чтобы определить ошибку каждого результата измерения, приходится сравнивать его не с истинным значением измеряемой величины, а с таким, которое можно считать более **подходящим**, более близким к этому значению. За такое подходящее значение принимают среднее арифметическое из всех отдельных результатов измерений, т. е. **средний результат.**

Средний результат отдельных измерений определяется как частное от деления суммы результатов измерений на число измерений:

$$x_{ср} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}, \qquad (61)$$

где x_1, x_2, x_n — результаты измерений;
n — число измерений.

Пример. Десять человек измерили расстояние (по угловой величине) до одного и того же местного предмета. При этом получены следующие результаты измерений: 930, 1150, 1071, 730, 1050, 955, 760, 1260, 839, 1015 *м*. Определить средний результат.

Решение. Подставим численные значения полученных результатов измерения в общую формулу:

$$x_{ср} = \frac{930 + 1150 + 1071 + 730 + 1050 + 955 + 760 + 1260 + 839 + 1015}{10} =$$

$$= \frac{9760}{10} = 976 \text{ м}.$$

Дальность 976 *м* принимаем за истинное значение измеренной дальности.

Подчеркнем, что подходящее значение измеряемой величины не тождественно истинному значению и может от него отличаться тем больше, чем меньше было сделано отдельных измерений, и наоборот — чем больше было сделано измерений, тем ближе полученный средний результат к истинному значению.

Принимая средний результат за истинное значение измеряемой величины x_0, мы имеем возможность определить ошибки отдельных измерений.

По условиям предыдущего примера определим ошибки отдельных измерений, если средний результат $x_{ср} = 976$ *м*. Получим: —46, +174, +95, —246, +74, —21, —216, +284, —137, +39 *м*.

В начале главы мы рассмотрели способ определения величины срединной ошибки по ее месту в ряде абсолютных значений всех ошибок. Для примера было взято 100 измерений, или 100 ошибок. При таком числе опытов этот способ определения величины срединной ошибки достаточно точен. Но на практике, как правило, приходится иметь дело с небольшим числом измерений. В таких случаях рассмотренный нами способ определения величины срединной ошибки не обеспечивает нужной точности. Чтобы убедиться в этом, воспользуемся последним примером, где в результате 10 измерений одного и того же расстояния получено 10 ошибок. Абсолютные значения этих ошибок расположим в возрастающем порядке: 21, 39, 46, 74, 95, 137, 174, 216, 246, 284 *м*.

Срединной ошибкой этого ряда будет:

$$E = \frac{95 + 137}{2} = 116 \text{ м}.$$

Положим, что произведено еще одно измерение — 11-е. Посмотрим, как может измениться суждение о величине срединной ошибки в зависимости от того, каков будет результат последнего измерения. Если 11-е измерение даст ошибку больше 137 *м*, то срединная ошибка будет равна 137 *м*; если же 11-е измерение даст ошибку меньше 95 *м*, то срединная ошибка будет равна 95 *м*.

Таким образом, мы убеждаемся, что в зависимости от одного только результата измерения суждение о величине срединной ошибки резко изменяется. Вот почему при небольшом числе измерений нельзя определять величину срединной ошибки по ее месту в ряде абсолютных значений полученных при этом ошибок.

В таких случаях подходящее значение срединной ошибки определяют, как правило, одним из следующих двух способов: или по величине **средней арифметической ошибки,** или по величине **средней квадратической ошибки.** Для этого нужно знать, как определяются величины названных ошибок и какие существуют численные зависимости между этими ошибками и срединной ошибкой.

Средняя арифметическая ошибка E_1 принимается равной сумме абсолютных значений всех ошибок, деленной на число ошибок:

$$E_1 = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \ldots + |\Delta_n|}{n} = \frac{\sum_1^n |\Delta_i|}{n}, \qquad (62)$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \ldots, \Delta_n$ — ошибки измерения;
n — количество ошибок.

По условию предыдущего примера, где было произведено 10 измерений и получено 10 ошибок, средняя арифметическая ошибка равна:

$$E_1 = \frac{46 + 174 + 95 + 246 + 74 + 21 + 216 + 284 + 137 + 39}{10} = 133{,}2 \text{ м}.$$

Между срединной ошибкой E и средней арифметической ошибкой E_1 существует следующая численная зависимость:

$$E \approx 0{,}8454 E_1 \approx \frac{5}{6} E_1.$$

На основании этой зависимости легко найти величину срединной ошибки, если известна величина средней арифметической ошибки.

По условию нашего примера срединная ошибка

$$E = \frac{5}{6} E_1 = \frac{5}{6} \cdot 133{,}2 = 111 \text{ м}.$$

Средняя квадратическая ошибка E_2 принимается равной корню квадратному из суммы квадратов всех ошибок, деленной на число ошибок без одной:

$$E_2 = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \ldots + \Delta_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n \Delta_i^2}{n-1}}, \qquad (63)$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \ldots, \Delta_n$ — ошибки измерения;

n — количество ошибок.

По условию предыдущего примера из 10 измерений средняя квадратическая ошибка равна:

$$E_2 = \sqrt{\frac{46^2 + 174^2 + 95^2 + 246^2 + 74^2 + 21^2 + 216^2 + 284^2 + 137^2 + 39^2}{9}} =$$

$$= \sqrt{\frac{255142}{9}} = \sqrt{28349} \approx 168{,}4 \text{ м}.$$

Между срединной ошибкой E и средней квадратической ошибкой E_2 существует следующая численная зависимость:

$$E \approx 0{,}6745 E_2 \approx \frac{2}{3} E_2.$$

На основании этой зависимости легко найти величину срединной ошибки, если известна величина средней квадратической ошибки.

По условию нашего примера срединная ошибка

$$E = \frac{2}{3} E_2 = \frac{2}{3} \cdot 168{,}4 \approx 112 \text{ м}.$$

Таким образом, располагая результатами 10 измерений, мы нашли подходящее значение измеряемой величины и ошибку каждого результата, после чего определили значение срединной ошибки тремя способами:

— по месту в ряде абсолютных значений ошибок, $E = 116$ *м*;
— по средней арифметической ошибке, $E = 111$ *м*;
— по средней квадратической ошибке, $E = 112$ *м*.

При рассмотрении первого способа мы убедились в его недостаточной точности. Действительно, достаточно было добавить еще одно (11-е) измерение, как искомая величина E резко изменилась (вместо 116 *м* стала 137 *м* или 95 *м*).

Чтобы убедиться в преимуществе двух последних способов, применим к ним те же испытания, что и к первому способу, т. е. посмотрим, как изменится искомая величина E, если к имеющимся ошибкам 10 измерений добавить ошибку 11-го измерения. Пусть в одном случае эта ошибка равна 140 *м* (больше 137 *м*), а в другом 80 *м* (меньше 95 *м*). Определив при этом величину срединной ошибки двумя последними способами, получим следующие данные:

при 11 измерениях с добавлением ошибки 140 *м*: по средней арифметической, $E = 111{,}5$ *м*; по средней квадратической, $E = 110{,}5$ *м*;

при 11 измерениях с добавлением ошибки 80 *м*: по средней арифметической, $E = 107$ *м*; по средней квадратической, $E = 108$ *м*.

Как видим, добавочное измерение незначительно изменяет суждение о величине срединной ошибки, если ее определять по средней арифметической или по средней квадратической ошибке.

5. СРЕДИННАЯ ОШИБКА СРЕДНЕГО РЕЗУЛЬТАТА

При ограниченном числе измерений, принимая средний результат $x_{ср}$ за истинное значение измеряемой величины x_0, мы допускаем некоторую ошибку, которая называется **ошибкой среднего результата.**

При одном и том же способе измерения и при одном и том же числе измерений одной и той же величины ошибки среднего результата будут иметь различные значения, так как каждая из них, являясь следствием ряда случайных результатов отдельных измерений, носит случайный характер.

Предположим, что одна и та же величина измерена одним и тем же способом большое количество раз и все отдельные результаты измерения в порядке последовательности их получения разбиты на ряд групп по n результатов в каждой. Найдем для каждой из этих групп ее средний результат, а для каждого такого среднего результата — его ошибку. При этом мы получим разные по величине ошибки средних результатов, которые будут следовать нормальному закону со своей **срединной ошибкой среднего результата.**

Срединная ошибка среднего результата равна срединной ошибке способа измерения, деленной на корень квадратный из числа измерений:

$$R = \frac{E}{\sqrt{n}}, \tag{64}$$

где R — срединная ошибка среднего результата;
E — срединная ошибка данного способа измерения;
n — число измерений.

Пример. 16 стрелков измерили глазомером расстояние до одного и того же местного предмета. За подходящее значение измеренного расстояния принят средний результат $x_{ср} = 750$ *м*, подсчитанный по результатам всех измерений. Подсчитаны ошибки всех измерений, и по их значениям найдена срединная ошибка способа измерения $E = 80$ *м*.

Определим величину срединной ошибки среднего результата R.

Решение:

$$R = \frac{E}{\sqrt{n}} = \frac{80}{\sqrt{16}} = 20 \text{ м}.$$

Приняв средний результат $x_{ср} = 750$ *м* за истинное значение измеренной величины x_0, мы допускаем, как уже указывалось раньше, некоторую ошибку среднего результата. При рассмотрении шкалы ошибок (рис. 107) можно сделать следующие выводы, объясняющие смысл полученного в примере результата:

1. Вероятность того, что ошибка среднего результата находится в пределах от 0 до $\pm R$, т. е. от 0 до ± 20 *м*, равна $0.25 + 0{,}25 = 0{,}5$, или 50%. Следовательно, 50% есть вероятность того, что

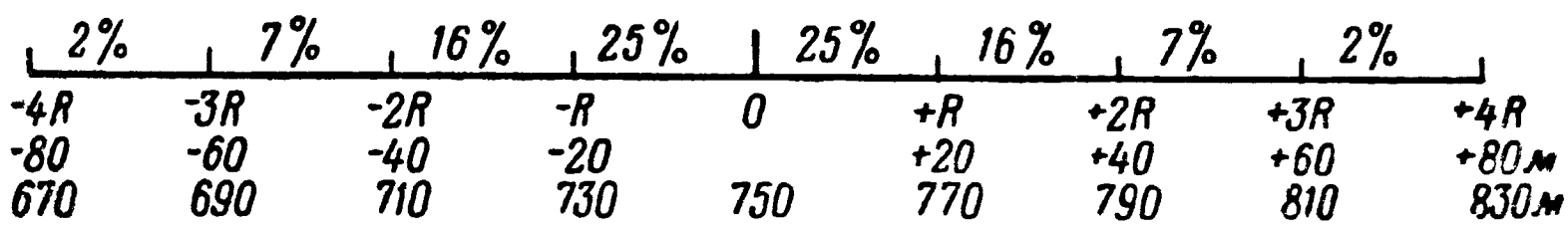


Рис. 107. Шкала ошибок среднего результата

истинное значение измеренного расстояния заключено в пределах от 730 *м* (750 — 20) до 770 *м* (750 + 20). Вероятность того, что истинное значение измеренного расстояния заключено в пределах от 0 до $\pm 2R$, т. е. от 710 *м* (750 — 40) до 790 *м* (750 + 40), равна

$$0{,}16 + 0{,}25 + 0{,}25 + 0{,}16 = 0{,}82 \text{ и т. д.}$$

2. Пределом ошибок в нашем примере является ошибка, равная $\pm 4R = \pm 80$ *м*. Следовательно, истинное значение измеренного расстояния заключено в пределах от 670 *м* (750 — 80) до 830 *м* (750 + 80).

Мы рассмотрели случай, когда средний результат был получен по 16 отдельным результатам измерений. Если срединная ошибка каждого отдельного результата измерения в данном примере E равна 80 *м*, то срединная ошибка среднего результата R из 16 отдельных результатов стала равной 20 *м*.

Таким образом, приняв средний результат за подходящее значение измеренной величины, мы тем самым повысили точность измерения в 4 раза ($\sqrt{16} = 4$).

Очевидно, что с увеличением числа измерений точность среднего результата становится все выше и выше. Однако в стрелково-артиллерийской практике невозможно тратить много времени на проведение многочисленных измерений. Поэтому возникает необходимость определить, каким числом измерений целесообразно ограничиться,

чтобы в возможно короткое время получить достаточно точный средний результат.

В первой вертикальной строке табл. 14 даны различные значения числа измерений n: во второй строке — коэффициенты, показывающие, во сколько раз повышается точность измерения при различных значениях n по сравнению с точностью результата одного измерения ($K = \sqrt{n}$); в третьей строке — увеличение точности в процентах по сравнению с предыдущим результатом (Δ_k).

Таблица 14

n	$K = \sqrt{n}$	Δ_k в %	n	$K = \sqrt{n}$	Δ_k в %
1	1	—	6	2,45	9,1
2	1,41	41	7	2,65	8,2
3	1,73	22,7	8	2,83	6,8
4	2	15,6	9	3	6
5	2,24	12	10	3,16	5,3

По данным таблицы видно, что наиболее существенное повышение точности получается с увеличением числа первых измерений. Если при одном измерении точность принять за 1, то при двух измерениях точность повышается в 1,41 раза, или на 41%; при трех измерениях точность повышается в 1,73 раза по сравнению с точностью одного результата измерения или на 22,7% по сравнению с точностью среднего результата двух измерений; при четырех измерениях точность повышается в 2 раза по сравнению с точностью одного результата измерения или на 15,6% по сравнению с точностью среднего результата трех измерений и т. д.

Особенно резкое повышение точности дают второе и третье измерения. Вот почему при стрельбе из минометов рекомендуется вносить коррективы в установку угломера при получении не менее двух наблюдений.

При увеличении числа измерений более четырех приращение точности резко падает Это положение также учитывается в практике. Так, например, при проверке боя оружия одиночными выстрелами для определения положения средней точки попадания (среднего результата измерения) ограничиваются четырьмя выстрелами.

6. ОШИБКИ НА ПЛОСКОСТИ

В стрелково-артиллерийской практике мы чаще всего сталкиваемся с такими измерениями, ошибки которых приходится рассматривать не только по их величине и знаку, но и по направлению на плоскости. Так, например, перелеты и недолеты при стрельбе являются ошибками по дальности (по высоте), направление этих ошибок совпадает с плоскостью стрельбы; боковые отклонения пуль (снарядов) от цели являются ошибками, имеющими направление, перпендикулярное плоскости стрельбы.

Отдельные ошибки, имеющие определенную величину и определенное направление на плоскости, называются **ошибками-векторами.** Такие ошибки можно изобразить графически в виде вектора, т. е. направленного прямолинейного отрезка, причем величина и направление этого отрезка должны соответствовать величине и направлению данной отдельной ошибки.

Пусть при измерении расстояния *ОЦ* допущена ошибка в бо́льшую сторону. На рис. 108 эта ошибка изображена вектором *аб* (для большей наглядности этот вектор приложен ниже точки *Ц*). Вели-

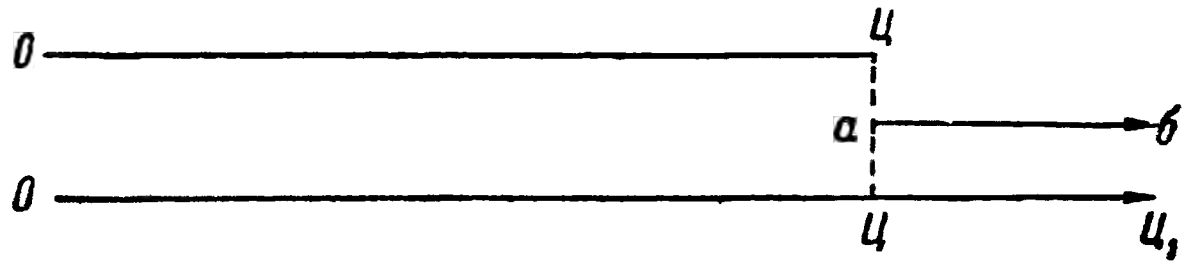


Рис. 108. Ошибка-вектор

чина вектора характеризует величину допущенной ошибки (путем сравнения с отрезком *ОЦ*), а направление вектора характеризует направление ошибки.

При измерениях мы обычно не знаем величины отдельных ошибок, иначе могли бы их учесть и устранить. Мы знаем только закон, которому подчиняются ошибки, направление ошибок и величину

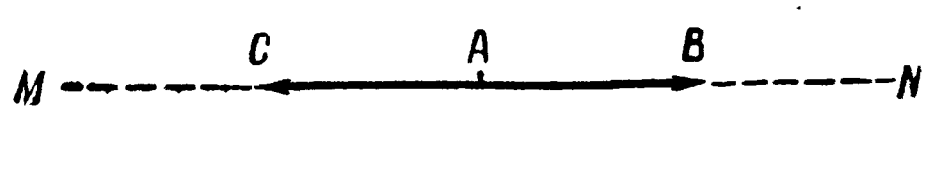


Рис. 109. Вериториальная ошибка

срединной ошибки. Так, например, нам известно, что измерение расстояния глазомером сопровождается ошибками-векторами, направленными вдоль линии цели, что эти ошибки следуют нормальному закону и что срединная ошибка данного способа измерения равна 8—10%. Если каждое отдельное измерение сопровождается ошибкой-вектором, то при многократном измерении мы получаем совокупность, или систему, ошибок-векторов.

Система (совокупность) ошибок-векторов, направленных в пространстве по одной прямой, называется **системой вериториальных ошибок.**

Для краткости эту систему называют **вериториальной системой** или еще проще — **вериториальной ошибкой.** Под этим условным названием нужно понимать не отдельную ошибку, а всю совокупность ошибок.

Графически вериториальную ошибку (систему вериториальных ошибок) изображают в виде вектора, т. е. прямолинейного отрезка, идущего по направлению ошибок и равного по величине срединной ошибке. Так, например, векторы *АС* и *АВ* (рис. 109) изображают систему вериториальных ошибок измерения, имеющих в пространстве направление *MN*, совпадающее с направлением на цель, до которой

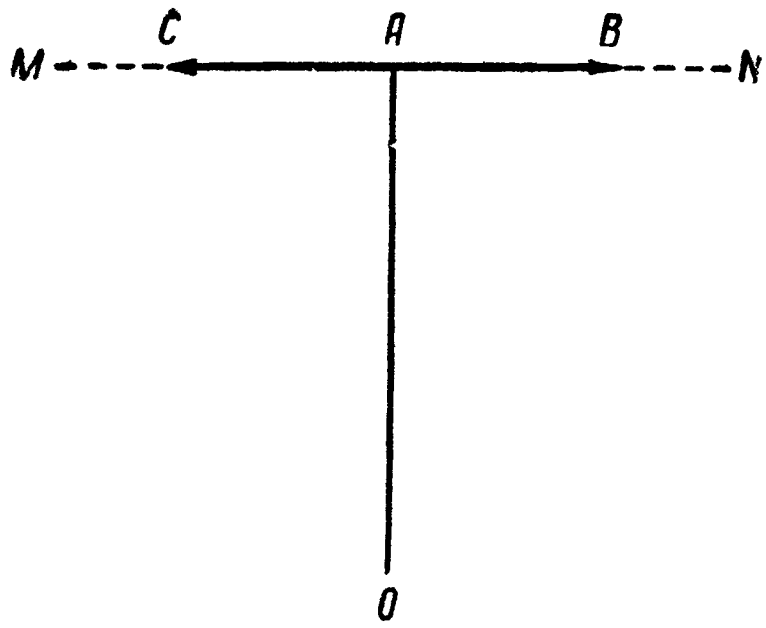


Рис. 110. Векториальная ошибка в боковом направлении по отношению к плоскости стрельбы

измеряется расстояние. Началом отсчета служит точка *A*. Срединная ошибка системы численно равна *AC* или *AB*. На рис. 110 векторы *AC* и *AB* изображают систему векториальных ошибок боковой наводки оружия в цель. Направление ошибок в пространстве перпендикулярно направлению на цель.

Сложение ошибок, направленных по одной прямой

Сложение ошибок-векторов. Ошибки-векторы, действующие в одном направлении (направленные по одной прямой), складываются по общему правилу сложения векторов, т. е. алгебраически.

Пример (рис. 111). При определении исходного прицела с учетом метеорологических условий для стрельбы из 82-*мм* минометов были допущены следующие ошибки:

— при измерении расстояния до цели +70 *м* (на рис. 111 вектор *аб*);
— при учете температуры воздуха +20 *м* (на рис. 111 вектор *вг*);
— при учете продольного ветра —30 *м* (на рис. 111 вектор *де*).

Суммарная ошибка $\Delta = +70 + 20 - 30 = +60$ *м* (на рис. 111 вектор *жз*).

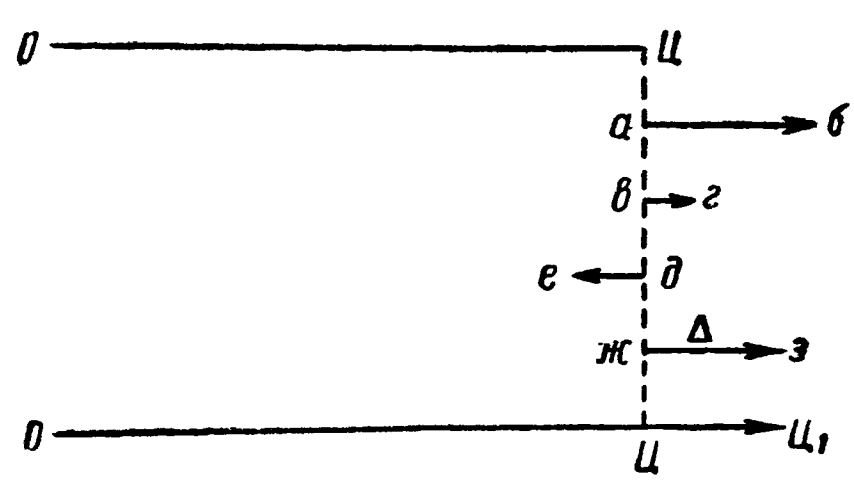


Рис. 111. Сложение ошибок-векторов, действующих в одном направлении

Сложение вектoриальных ошибок. Положим, что при измерении какой-либо величины действует несколько источников ошибок. Пусть каждый из этих источников дает систему ошибок, подчиняющихся нормальному закону и характеризующихся какой-то своей срединной ошибкой. В результате взаимодействия всех таких источников ошибки будут подчиняться нормальному закону, но величина этих ошибок будет суммарная, с какой-то новой суммарной срединной ошибкой.

Величина суммарной срединной ошибки определяется следующим выражением:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \ldots + E_n^2}, \qquad (65)$$

где E — суммарная срединная ошибка;
$E_1, E_2, \ldots, E_n$ — срединные ошибки разных источников.

Пример. Стрельба из ротного пулемета сопровождается рядом систем ошибок, являющихся причиной отклонения средней траектории по дальности относительно цели.

Найти суммарную вектoриальную ошибку (срединную ошибку, или срединное отклонение средней траектории от цели) по дальности, если:

— вектoриальная ошибка измерения расстояния равна 10%;

— система ошибок учета метеорологических условий дает вектoриальную ошибку в 3%;

— система ошибок в наводке по высоте дает вектoриальную ошибку в 5%.

Применяя приведенную выше формулу, получаем:

$$E = \sqrt{10^2 + 3^2 + 5^2} = \sqrt{134} \approx 11{,}5\%.$$

Сложение ошибок, имеющих разные направления в одной плоскости

Сложение ошибок-векторов. Ошибки-векторы, имеющие разные направления, складываются геометрически по правилам параллелограмма.

Рассмотрим это на примерах.

Пример 1. Ведется стрельба из ручного пулемета одной очередью по головной фигуре на щите (рис. 112). Меткость стрельбы определяется совмещением средней точки попадания с центром цели.

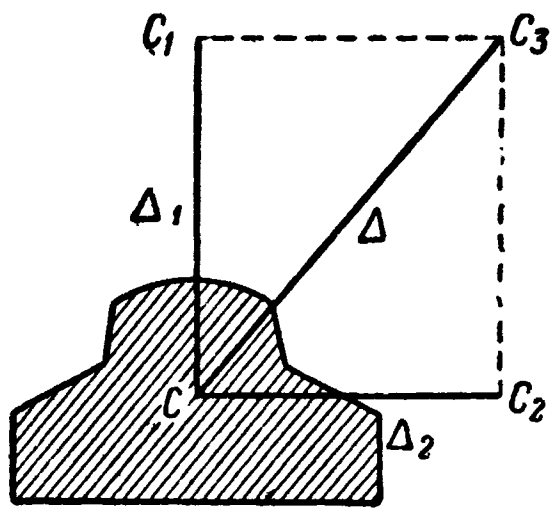


Рис. 112. Сложение ошибок-векторов, действующих в двух взаимно-перпендикулярных направлениях в одной плоскости (по высоте и по боковому направлению)

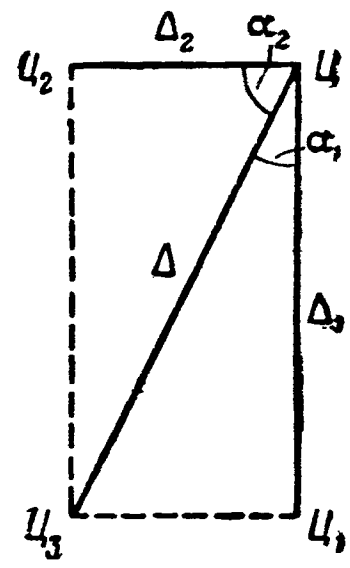


Рис. 113. Сложение ошибок-векторов, действующих в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (по дальности и по боковому направлению)

Положим, что пулеметчик допустил при стрельбе одновременно две ошибки: одну — по высоте, равную Δ_1 (ошибка в установке прицела); другую — по боковому направлению, равную Δ_2 (ошибка в учете бокового ветра).

От ошибки Δ_1 средняя точка попадания переместится из точки C в точку C_1 и от ошибки Δ_2 в точку C_2. В результате одновременного действия этих двух ошибок средняя точка попадания переместится из точки C в точку C_3.

Одновременное появление отдельных ошибок (Δ_1 и Δ_2) в двух разных направлениях приводит к одной суммарной, или результирующей ошибке (Δ).

Пример 2. При нанесении на карту точки *Ц* (цель) наблюдатель допустил одновременно две ошибки (рис. 113): одну — по дальности, равную Δ_1 (ошибка в измерении расстояния), другую — по боковому направлению, равную Δ_2 (ошибка в измерении бокового смещения цели относительно ориентира).

При одновременном действии ошибок Δ_1 и Δ_2 получена суммарная, или результирующая ошибка Δ, и положение цели на карте оказалось не в точке *Ц*, а в точке $Ц_3$.

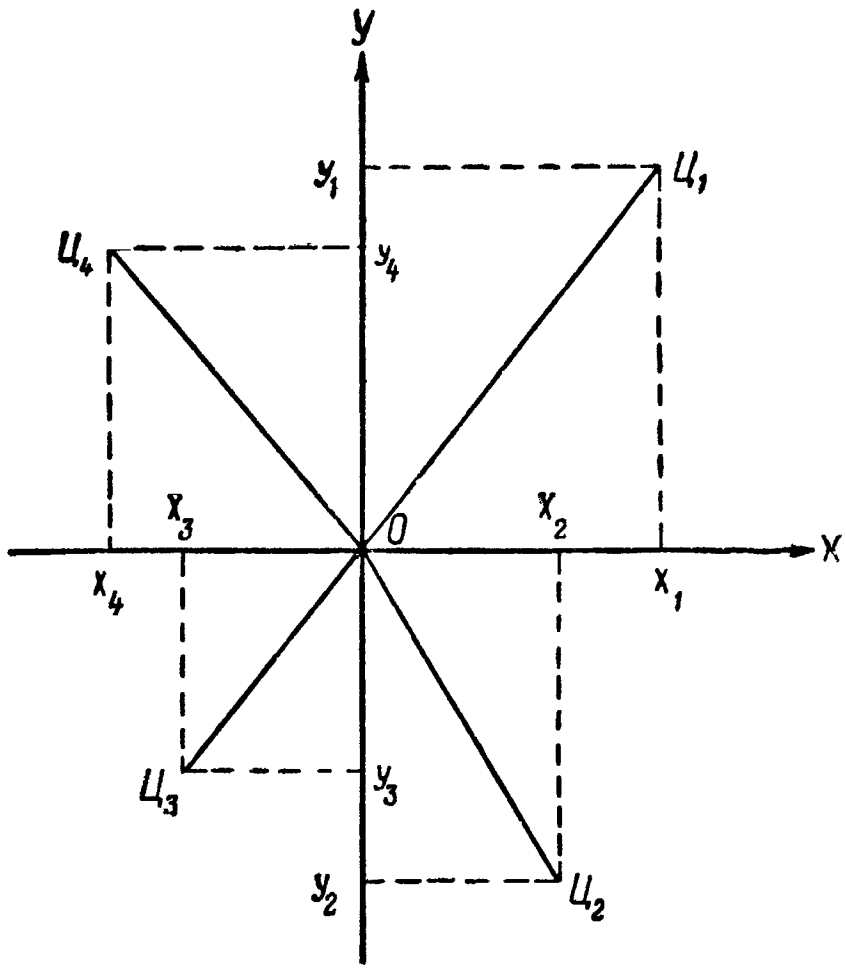


Рис. 114. Схема получения эллиптической ошибки

Мы рассмотрели случаи сложения ошибок-векторов, имеющих различные направления в одной плоскости, когда эти направления взаимно-перпендикулярны. Это наиболее характерные случаи для стрелковой практики. Величина суммарной (результирующей) ошибки в таких случаях определяется как гипотенуза прямоугольного треугольника, в котором известны катеты, т. е. в наших обозначениях по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}. \qquad (66)$$

Направление ошибки определяется величиной угла, составленного направлением суммарной ошибки-вектора и направлением одной из составляющих ошибок-векторов (см. рис. 113)

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \text{ или } \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\Delta_1}{\Delta_2}.$$

Пример. Пусть $\Delta_1 = 120$ *м* и $\Delta_2 = 30$ *м*. Найти величину и направление суммарной ошибки.

Решение:

$$\Delta = \sqrt{120^2 + 30^2} = \sqrt{15300} \approx 124 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{30}{120} = 0{,}25,$$

что соответствует углу 14° (округленно).

Сложение векториальных ошибок. Возьмем какие-либо причины, дающие векториальные системы ошибок в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Одна причина дает систему ошибок по направлению *ОХ*, а другая — по направлению *ОУ* (рис. 114). При этом могут быть различные сочетания отдельных ошибок-векторов двух направлений, в результате чего будут получаться различные по величине и направлению суммарные (результирующие) ошибки. Так, например:

ошибки x_1 и y_1 дают суммарную ошибку $ОЦ_1$;
» x_2 и y_2 » » » $ОЦ_2$;
» x_3 и y_3 » » » $ОЦ_3$;
» x_4 и y_4 » » » $ОЦ_4$.

Таким образом, при одновременном действии причин, дающих векториальные ошибки по двум направлениям, получаются отдельные ошибки, идущие во всех направлениях на плоскости.

Систему ошибок на плоскости; получаемую в результате сложения двух векториальных ошибок, имеющих разные направления, называют **ошибкой на плоскости.**

При сложении векториальных ошибок, имеющих разные направления и подчиняющихся нормальному закону, все полученные ошибки не выходят за пределы площади, ограниченной эллипсом (рис. 115). В этом случае ошибку на плоскости называют эллиптической ошибкой.

Эллиптической ошибкой называется ошибка на плоскости, получающаяся в результате сложения векториальных ошибок, имеющих разное направление в одной плоскости и подчиняющихся нормальному закону.

Если векториальные ошибки *OA* и *OB* (см. рис. 115) взаимно-перпендикулярны, то они являются главными полуосями эллипса *E*. Эллипс ошибок, у которого главные полуоси равны срединным ошибкам по этому направлению, называется **единичным эллипсом.**

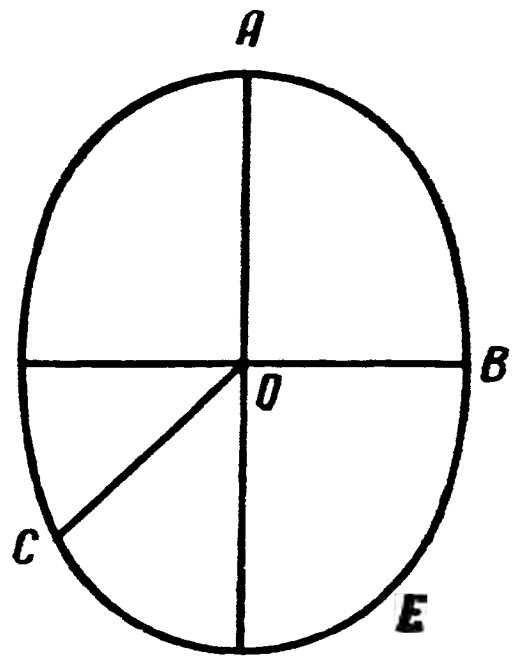


Рис. 115. Эллиптическая ошибка

Прямая, соединяющая центр единичного эллипса с какой-либо его внешней точкой, характеризует величину срединной ошибки по данному направлению. Так, например, прямая *OC* есть величина срединной ошибки в этом направлении. Практически возможная наибольшая ошибка в любом направлении в 4—5 раз больше срединной ошибки по данному направлению. В практике могут быть случаи, когда при равенстве срединных ошибок по двум взаимно-перпендикулярным направлениям эллипс превращается в круг. В этих случаях ошибка называется круговой.

Круговой ошибкой называется ошибка на плоскости, получаемая при сложении взаимно-перпендикулярных и равных по величине векториальных ошибок.

ГЛАВА X

РАССЕИВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ

1. ПРИЧИНЫ РАССЕИВАНИЯ И СНОП ТРАЕКТОРИЙ

Предположим, что из одного и того же оружия произведено большое количество прицельных выстрелов с одинаковой установкой прицельных приспособлений. Перед стрельбой и во время стрельбы приняты все возможные меры, чтобы создать одинаковые условия для всех выстрелов, а именно: оружие осмотрено и тщательно подготовлено к стрельбе; патроны взяты из герметической укупорки, одной партии и самого лучшего качества; стрельба велась отличным стрелком в тихую и ясную погоду; каждый выстрел производился неторопливо, при тщательном прицеливании.

На первый взгляд может показаться, что при таких условиях стрельбы все выпущенные пули должны лететь по одной траектории. На самом же деле этого не может быть. Несмотря на принятые меры, каждая пуля опишет свою траекторию, не совпадающую с другими траекториями, и будет иметь свою точку встречи с целью или с землей.

Явление разбрасывания пуль (снарядов) при стрельбе из одного и того же оружия в одинаковых условиях называется **естественным рассеиванием пуль (снарядов)** или **рассеиванием траекторий.**

Рассеивание траекторий неизбежно, и устранить его нельзя, так как нельзя создать совершенно одинаковые условия для всех выстрелов. Этому препятствует большое количество неизбежных причин, которые можно разделить на следующие три группы:

I. Причины, вызывающие разнообразие начальных скоростей.

II. Причины, вызывающие разнообразие углов бросания и направлений стрельбы.

III. Причины, влияющие на полет пули (снаряда) в воздухе.

Отметим наиболее важные причины рассеивания в каждой из перечисленных групп.

I. Причины, вызывающие разнообразие начальных скоростей.

1. Разнообразие весов боевых зарядов. Чем больше вес заряда, тем больше начальная скорость пули (снаряда).

2. Разнообразие весов пуль (снарядов). Чем больше вес пули (снаряда) при одинаковых зарядах, тем меньше начальная скорость.

3. Разнообразие химических свойств пороха боевых зарядов.

4. Разнообразие температуры боевых зарядов. Чем выше температура заряда в момент воспламенения, тем больше будет начальная скорость пули (снаряда).

5. Разнообразие объемов гильз, что отражается на плотности заряжания при разных выстрелах, а следовательно, и на начальной скорости.

II. Причины, вызывающие разнообразие углов бросания и направлений стрельбы.

1. Разнообразие в наводке (прицеливании) по высоте и боковому направлению.

2. Разнообразие в установке прицельных приспособлений (неточность установок в процессе стрельбы из минометов и артиллерийских систем).

3. Разнообразие в горизонтировании оружия (сваливание оружия).

4. Разнообразие углов вылета и боковых отклонений оружия в момент выстрела. При стрельбе из карабина (автомата) углы вылета имеют различную величину вследствие разнообразия упора приклада в плечо или положения центра тяжести карабина относительно упора. При стрельбе из пистолета неодинаковые углы вылета получаются из-за неодинакового положения рукоятки в кисти руки.

5. Угловые колебания ствола автоматического оружия во время стрельбы.

При автоматической стрельбе углы бросания и боковые направления ствола будут иметь различные значения, так как для каждого выстрела они зависят от положения ствола после предыдущего выстрела. Пределы угловых колебаний ствола зависят от калибра и веса оружия. Кроме того, угловые колебания ствола зависят от конструкции станка (наличия и качества амортизатора), от технического его состояния (наличия мертвых ходов или изношенности механизмов) и от установки оружия на огневой позиции (характера площадки и состояния грунта).

При стрельбе из автоматов и ручных (ротных) пулеметов угловые колебания ствола зависят от подготовленности автоматчиков (наводчиков) — от их умения удерживать оружие во время автоматической стрельбы.

III. Причины, влияющие на полет пули (снаряда) в воздухе.

1. Изменение метеорологических условий, главным образом ветра, в промежутках между выстрелами.

2. Разнообразие весов пуль (снарядов). Чем больше вес пули (снаряда), тем больше его поперечная нагрузка, а следовательно, меньше ускорение силы сопротивления воздуха; дальность полета пули (снаряда) при одинаковой начальной скорости при этом будет больше.

3. Разнообразие форм пуль (снарядов), влияющее на ускорение силы сопротивления воздуха.

4. Разнообразие форм мин (несимметричность корпуса и хвостового оперения), влияющее на отклонение мин в любых направлениях.

Мы рассмотрели основные причины, вызывающие рассеивание траекторий. Все эти причины неустранимы, поэтому и рассеивание устранить нельзя. Однако возможно и в ряде случаев необходимо принимать все меры, чтобы уменьшить разнообразие условий стрельбы и тем самым уменьшить пределы рассеивания траекторий. Так, например, рассеивание зависит от разнообразия в устройстве патронов (по весу пуль и зарядов, по форме пуль и гильз); поэтому

Рис. 116. Сноп траекторий

для уменьшения величины рассеивания надо вести стрельбу патронами хорошего качества, герметической укупорки, одной партии изготовления. Так как рассеивание зависит от разнообразия изготовки к стрельбе и наводки, то надо, следовательно, более тщательно обучать солдат приемам стрельбы.

Совокупность траекторий пуль (снарядов), полученных вследствие их естественного рассеивания, называется **снопом траекторий** (рис. 116).

При пересечении снопа траекторий с какой-либо плоскостью получается ряд точек падения (встречи), располагающихся на некотором расстоянии друг от друга и занимающих некоторую площадь, называемую **площадью рассеивания.**

Величина площади рассеивания на вертикальной плоскости измеряется по высоте и боковому направлению, на горизонтальной плоскости — по дальности и боковому направлению (рис. 117).

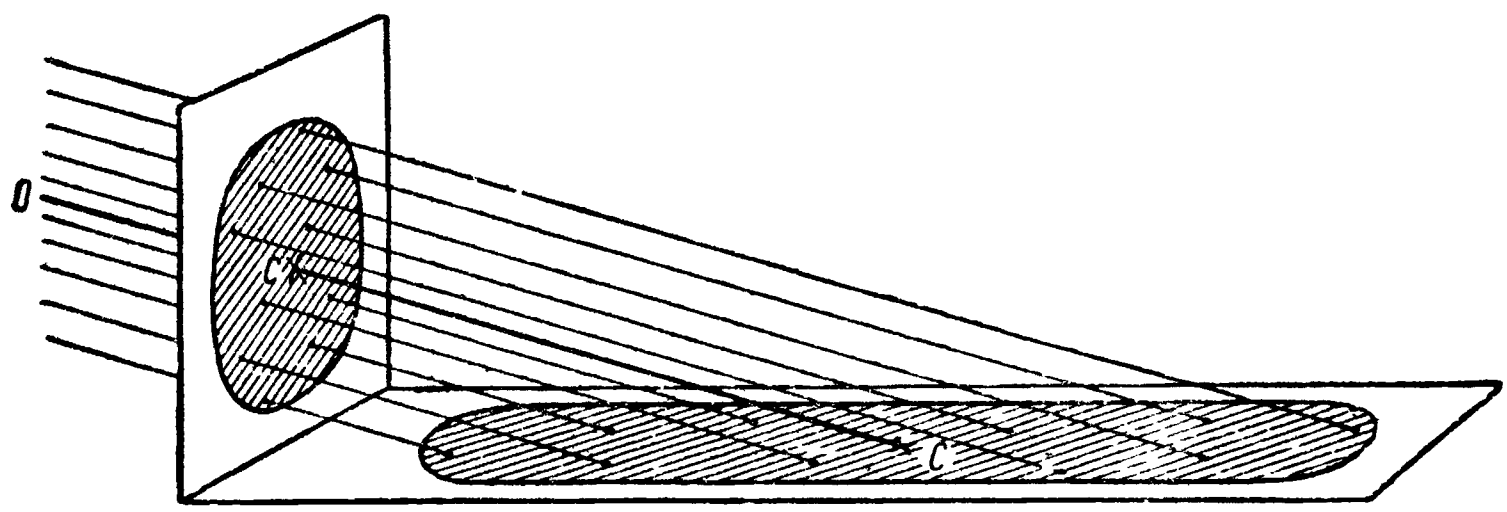


Рис. 117. Площади рассеивания на вертикальной и горизонтальной плоскостях

Положение снопа траекторий относительно горизонта оружия или линии прицеливания определяется по **средней траектории.** Средняя траектория — это воображаемая траектория, проходящая в середине снопа траекторий на всем его протяжении (см. рис. 116 и 117).

Точка пересечения средней траектории с поверхностью цели

(преграды) называется **центром рассеивания** (средней точкой попадания).

Величина рассеивания оказывает различное влияние на действительность стрельбы. Для оружия, из которого стрельба ведется одиночными выстрелами (карабин, снайперская винтовка, миномет, пушка), всегда выгодно, чтобы рассеивание было как можно меньше. При отсутствии ошибок, отклоняющих среднюю траекторию от центра цели (или когда такие ошибки очень малы), выгодно иметь небольшое рассеивание и при стрельбе из автоматического оружия очередями. Но такие условия могут быть лишь на спортивных стрельбах и при выполнении некоторых упражнений учебных стрельб (по неподвижным целям), когда установки прицельных приспособлений точно соответствуют расстоянию до цели и метеорологическим условиям в момент стрельбы. Целесообразность уменьшения рассеивания на таких стрельбах объясняется еще и тем, что качество их выполнения определяется по количеству пробоин в мишени и по удалению их относительного центра цели (при стрельбе по спортивным мишеням).

На боевых стрельбах и в условиях боевой обстановки ошибки, отклоняющие среднюю траекторию относительно центра цели (ошибки определения расстояний, учета метеорологических условий, наводки и др.), неизбежны. Они могут быть так велики, что при стрельбе очередью (при малом рассеивании) весь сноп траекторий пройдет мимо цели. При стрельбе в условиях боевой обстановки для поражения живой цели количество попаданий не имеет решающего значения, так как вполне достаточно хотя бы одного попадания. Учитывая это, при стрельбе из автоматического оружия очередями целесообразно иногда иметь большее рассеивание (до некоторых пределов), так как вероятность захватить цель снопом траекторий при такой стрельбе увеличивается.

2. ЗАКОН РАССЕИВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ

Выше было установлено, что рассеивание траекторий зависит от весьма многих причин. Подавляющее большинство этих причин в той или иной степени связано со случайными ошибками разного рода измерений. Так, например, такая причина, как разнообразие наводки, есть результат ошибок стрелка, а разнообразие весов боевых зарядов — результат ошибок (неточностей), допускаемых при развеске боевых зарядов.

Большинство ошибок, обусловливающих рассеивание траекторий, следует нормальному закону, поэтому и отклонения точек падения от центра рассеивания, получающиеся по причине этих ошибок, должны подчиняться этому же закону. Могут быть и такие ошибки, которые следуют какому-либо другому закону, отличному от нормального, но влияние таких ошибок весьма незначительно в общей системе всех ошибок, а поэтому считают, что рассеивание траекторий подчиняется **нормальному закону распределения** —

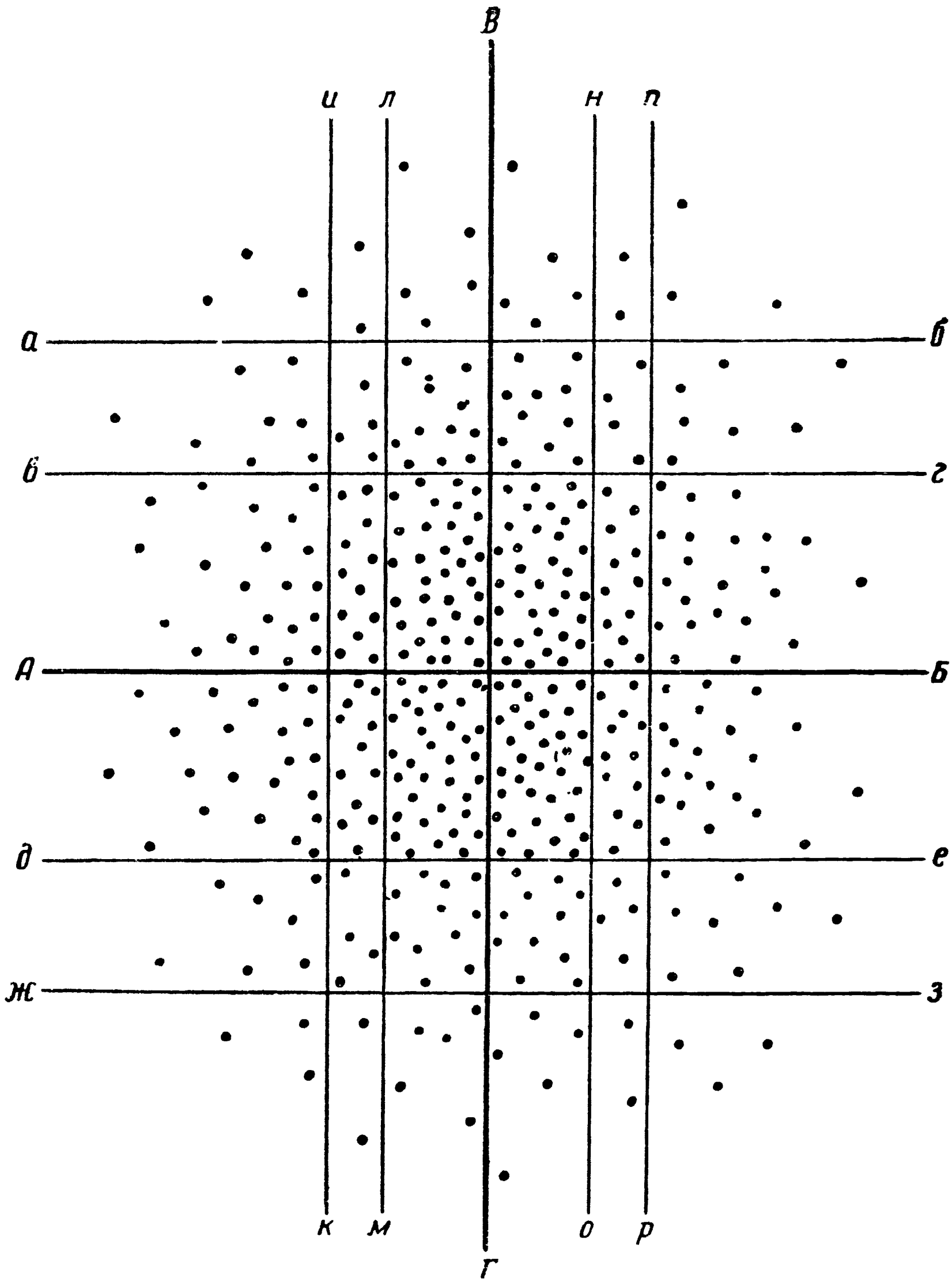


Рис 118. Частный случай рассеивания пуль на вертикальной плоскости

нормальному закону ошибок. Опытные данные подтверждают этот вывод.

Применительно к стрельбе нормальный закон распределения траекторий (точек попадания) может быть сформулирован так:

1. **С увеличением отклонения отдельной точки падения** (встречи) **от центра рассеивания вероятность его получения уменьшается, и наоборот, чем меньше отклонение, тем больше вероятность его получения.**

2. **Отклонения отдельных точек падения** (встречи) **от центра рассеивания, заключающиеся в равных по абсолютной величине пределах, но разные по знаку, равновероятны.**

3. **При любых условиях стрельбы из любого оружия отклонения отдельных точек падения** (встречи) **от центра рассеивания имеют свой предел;** отдельные отклонения, превышающие по величине этот предел, настолько маловероятны, что практически ими обычно пренебрегают.

Рассмотрим на примере характер расположения точек падения (встречи) в пределах площади рассеивания.

На рис. 118 изображена площадь рассеивания, включающая пробоины четырех сотен пуль на вертикальной плоскости (на щите). Через всю площадь рассеивания проведены горизонтальная и вертикальная линии так, что каждая из них делит число всех пробоин пополам; линия *АБ* (горизонтальная) есть ось рассеивания по высоте, линия *ВГ* (вертикальная) — ось рассеивания по боковому направлению. Точка пересечения этих двух осей принимается за центр рассеивания (среднюю точку попадания).

Из рис. 118 видно следующее:

1. Чем ближе к центру рассеивания, тем кучнее расположены пробоины, чем дальше — тем реже; следовательно, рассеивание **неравномерно.**

2. В равных полосах, равно удаленных от оси рассеивания и расположенных параллельно одна другой, заключается **примерно одинаковое** число пробоин; следовательно, рассеивание **симметрично.** Так, например, полосы *абвг* и *дежз* содержат по одинаковому числу пробоин; то же можно сказать в отношении полос *иклм* и *нопр.*

3. Площадь рассеивания ограничена некоторыми пределами.

Таким образом, все три положения закона рассеивания траекторий (точек падения, встречи) можно коротко сформулировать так: **рассеивание неравномерно, симметрично и небеспредельно.**

3. МЕРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РАССЕИВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ

В теории и практике стрельбы очень часто приходится считаться с явлением рассеивания и учитывать пределы возможных отклонений траекторий (точек падения) относительно средней траектории (центра рассеивания), поэтому возникла необходимость иметь меры, характеризующие рассеивание.

Мерами рассеивания являются: **срединное (вероятное) отклонение, сердцевинная полоса и радиус круга, вмещающего лучшую половину попаданий или все попадания.**

Срединное (вероятное) отклонение

Рассмотрим рассеивание траекторий в зависимости только от одной группы причин, вызывающих, например, разнообразие начальных скоростей.

Положим, что есть такое оружие, у которого разнообразие начальных скоростей характеризуется срединной ошибкой 5 *м/сек*. Положим также, что при стрельбе на какое-то расстояние при изменении начальной скорости на 5 *м/сек* пуля получает отклонение относительно оси рассеивания по высоте, равное 3 *см*. Зная закон ошибок, нетрудно представить характер расположения пробоин относительно оси рассеивания в зависимости только от разнообразия начальных скоростей.

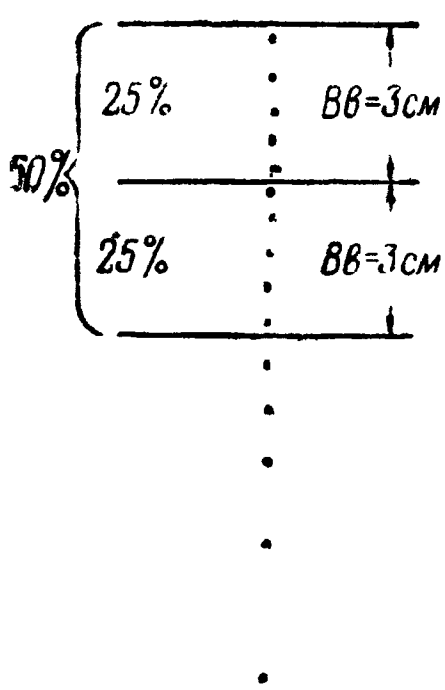


Рис. 119. Рассеивание по высоте в зависимости от разнообразия начальных скоростей

Ошибки в начальной скорости для 50% всех выпущенных пуль будут колебаться в пределах от 0 до ± 5 *м/сек*, поэтому отклонения этой половины пуль от оси рассеивания по высоте будут колебаться в пределах от 0 до ± 3 *см* (рис. 119). Остальные пули будут иметь различные начальные скорости с ошибками более 5 *м/сек*, поэтому и отклонения этих пуль от оси рассеивания по высоте будут более 3 *см* каждое.

Таким образом, мы убеждаемся в том, что, если ошибки, обусловливающие рассеивание траекторий, следуют нормальному закону, то и отклонения траекторий, возникшие вследствие этих ошибок, будут следовать тоже нормальному закону.

Так как мерой ошибок является срединная ошибка, то за меру рассеивания по данному (одному) направлению принимают срединное (вероятное) отклонение.

Срединным (вероятным) отклонением называется такое отклонение, которое по своей абсолютной величине больше каждого из отклонений одной половины всех отклонений и меньше каждого из отклонений другой их половины.

Рассеивание траекторий рассматривают по трем направлениям: по высоте, дальности и боковому направлению. Приняты следующие обозначения срединных (вероятных) отклонений: *Вв* — срединное отклонение по высоте; *Вд* — срединное отклонение по дальности; *Вб* — срединное отклонение по боковому направлению.

Выше было рассмотрено рассеивание траекторий в зависимости только от одной группы причин, вызывающих разнообразие начальных скоростей. Теперь рассмотрим характер рассеивания траекторий по высоте, а следовательно, и по дальности, при одновременном действии всех трех групп причин. Для этого воспользуемся формулой сложения векториальных ошибок, действующих в одном

направлении (см. стр. 170). Применительно к рассеиванию траекторий эту формулу можно написать так:

$$Bв = \sqrt{Bв_1^2 + Bв_2^2 + Bв_3^2}, \qquad (67)$$

где $Bв$ — суммарное срединное отклонение по высоте, вызываемое одновременным действием всех трех групп причин;

$Bв_1$ — срединное отклонение по высоте, вызываемое разнообразием начальных скоростей;

$Bв_2$ — срединное отклонение по высоте, вызываемое разнообразием углов бросания;

$Bв_3$ — срединное отклонение по высоте, вызываемое причинами, влияющими на полет пули в воздухе.

Пример.

$$Bз_1 = 3 \text{ см}; \quad Bз_2 = 8 \text{ см}; \quad Bз_3 = 5 \text{ см};$$

$$Bз = \sqrt{3^2 + 8^2 + 5^2} = \sqrt{98} \approx 10 \text{ см}.$$

Точно так же получается суммарное срединное отклонение по боковому направлению $Bб$ при сложении срединных отклонений, вызываемых разными причинами.

Величины срединных отклонений для того или иного образца оружия выявляются практически, отстрелом.

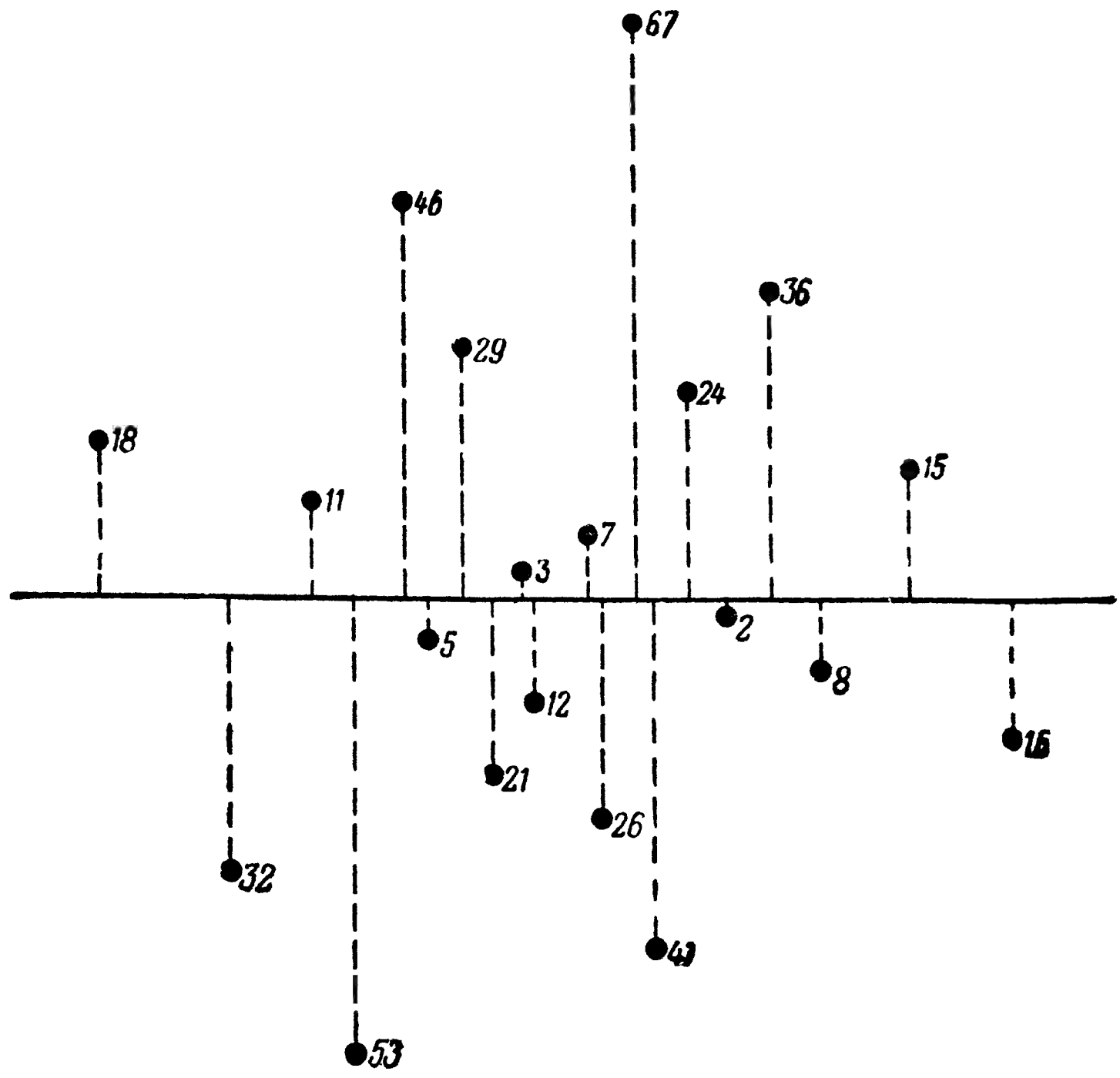


Рис. 120. Определение величины отклонений пробоин относительно оси рассеивания

Предположим, что из одного и того же карабина произведено 20 выстрелов по вертикальному щиту в возможно одинаковых условиях. Отыскав на щите все пробоины, прочертим ось рассеивания по высоте. Измерим величину отклонения каждой пробоины от этой оси (рис. 120). Абсолютные величины полученных отклонений выпишем в ряд в возрастающем (или убывающем) порядке: 2, 3, 5, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 18, 21, 24, 26, 29, 32, 36, 41, 46, 53, 67 (*см*). В ряду отклонений найдем такое, которое больше любого отклонения одной половины ряда и меньше любого отклонения другой половины этого ряда. Очевидно, что этому условию отвечает отклонение, равное

$$\frac{18 + 21}{2} = 19{,}5 \text{ } см.$$

Отклонение, равное 19,5 *см*, является величиной срединного отклонения по высоте *Вв*.

В предыдущей главе было доказано, что при небольшом числе измерений подходящее значение срединной ошибки E следует определять по средней арифметической ошибке E_1 и по средней квадратической ошибке E_2 (см. стр. 164). Аналогично этому при небольшом числе выстрелов подходящее значение срединного отклонения B надо определять или по среднему арифметическому отклонению B_1, или по среднему квадратическому отклонению B_2.

При большом числе выстрелов величину срединного отклонения можно определить более простым способом и с достаточной точностью.

Положим, что в возможно одинаковых условиях из одного и того же оружия произведено 100 выстрелов. Получено 100 пробоин (попаданий), расположенных на вертикальном щите, как показано на рис. 121. Проведем ось рассеивания по высоте и отсчитаем в обе

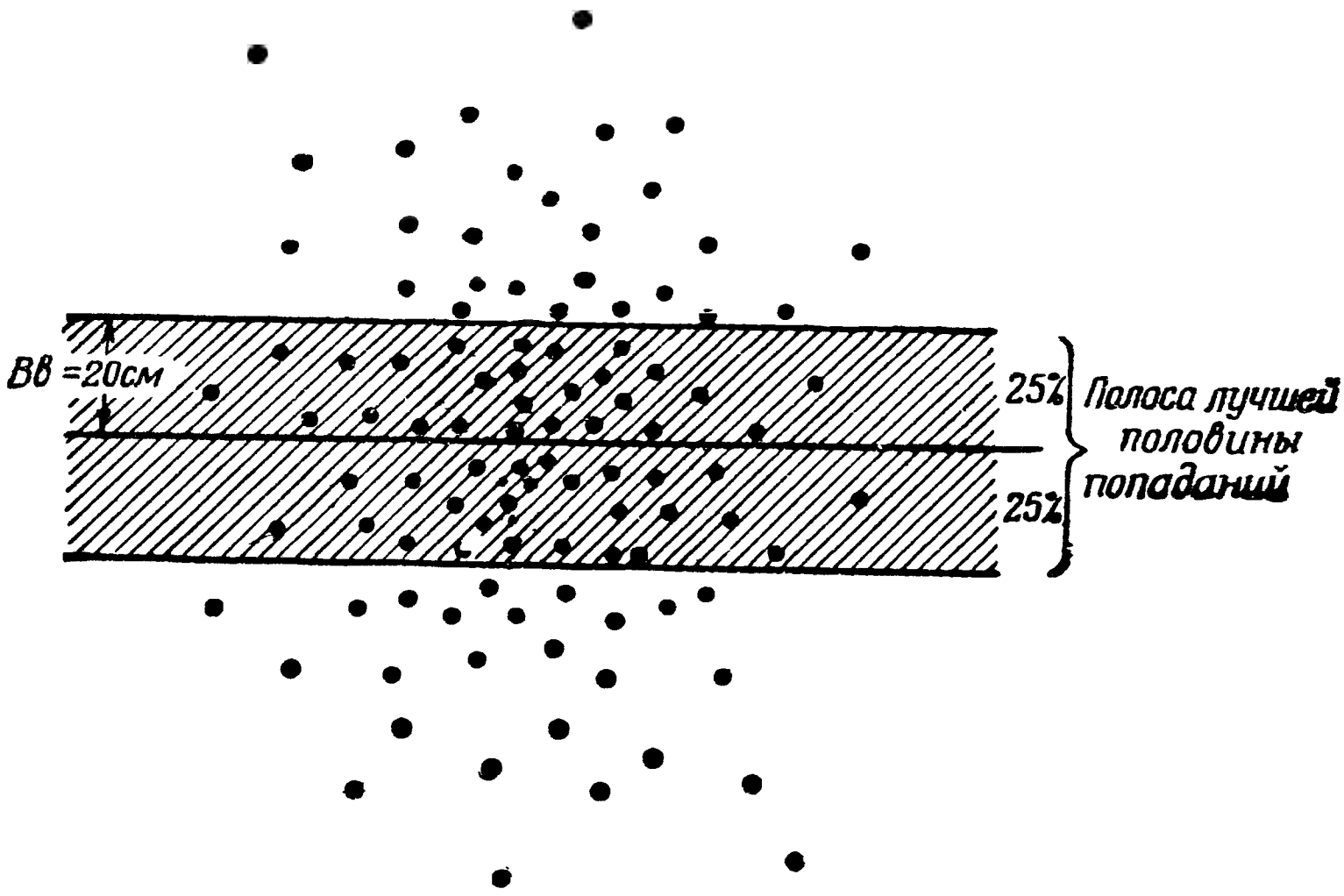


Рис. 121. Определение величины срединного отклонения по высоте *Вв* путем отсчета по оси рассеивания 25% всех попаданий

стороны от нее по 25% попаданий. Отсчитанные попадания отделим прямыми, параллельными оси рассеивания; получим две смежные полосы. Пусть высота каждой полосы равна 20 *см*. Это и есть срединное (вероятное) отклонение по высоте *Вв*. При небольшом числе выстрелов высоты двух смежных полос, содержащих по 25% попаданий, могут оказаться неодинаковыми, тогда срединное отклонение следует принять равным полусумме высот этих двух полос.

Две полосы, примыкающие к оси рассеивания и содержащие по 25% попаданий, составляют в сумме одну полосу, содержащую 50% всех попаданий. Сюда входят все те попадания, отклонения которых относительно оси рассеивания меньше величины срединного (вероятного) отклонения. Остальные попадания, отклонения которых больше величины срединного (вероятного) отклонения, находятся вне пределов этой полосы.

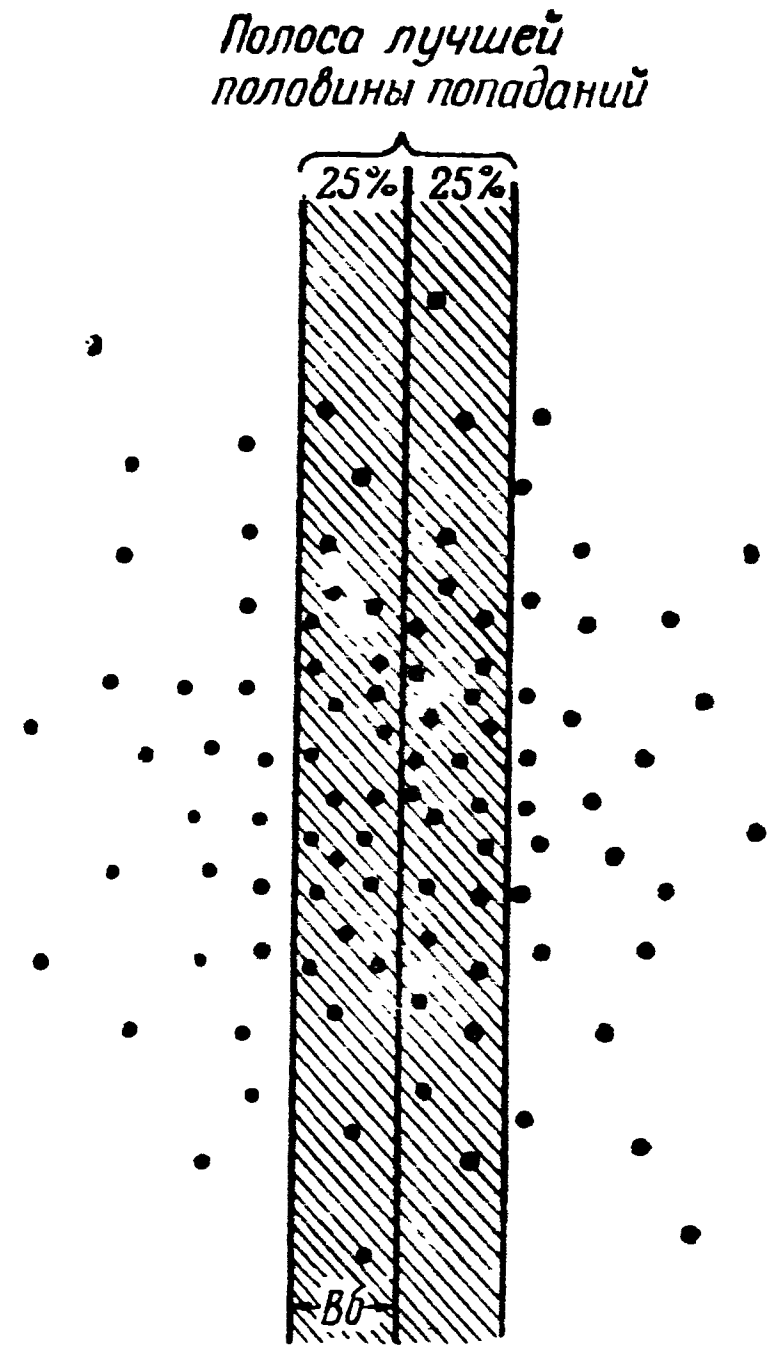


Рис. 122. Определение величины срединного отклонения по боковому направлению *Вб* путем отсчета от вертикальной оси рассеивания 25% всех попаданий

Полоса, содержащая в себе 50% всех попаданий и симметрично расположенная вдоль оси рассеивания, называется **полосой лучшей половины попаданий.**

Итак, мы нашли, что срединное отклонение по высоте (для частного случая) $Bв = 20$ *см*. Эта мера характеризует величину рассеивания только по высоте.

Аналогичными способами, проделав все измерения и расчеты по отношению к вертикальной оси рассеивания, можно определить величину срединного отклонения по боковому направлению *Вб* (рис. 122). Точно так же можно определить величину срединного отклонения по дальности *Вд*.

Шкала рассеивания. Рассмотрим характер распределения попаданий по высоте в пределах всей площади рассеивания.

Предположим, что в тех же условиях и из того же оружия произведено не 100, а значительно большее число выстрелов, позволяющее более точно выявить закон рассеивания. Пусть $Bв = 20$ *см*. Отложим в обе стороны от оси рассеивания ряд полос, равных одному *Вв* (20 *см*), с таким расчетом, чтобы захватить все попадания. При этом можно получить по 4—5, а при достаточно большом числе выстрелов — по 6 таких полос в каждую сторону от оси рассеивания. В последнем случае численное распределение попаданий

по полосам, равным одному срединному отклонению, будет аналогично тому, как показано на рис. 100. Если площадь рассеивания разбить на полосы, равные 0,5 срединного отклонения, то по мере удаления таких полос от оси рассеивания в них окажется по 13,2%, 11,8%, 9,4%, 6,7%, 4,3%, 2,4%, 1,2%, 0,6%, 0,2%, 0,1%, 0,07%, 0,03% (рис. 123).

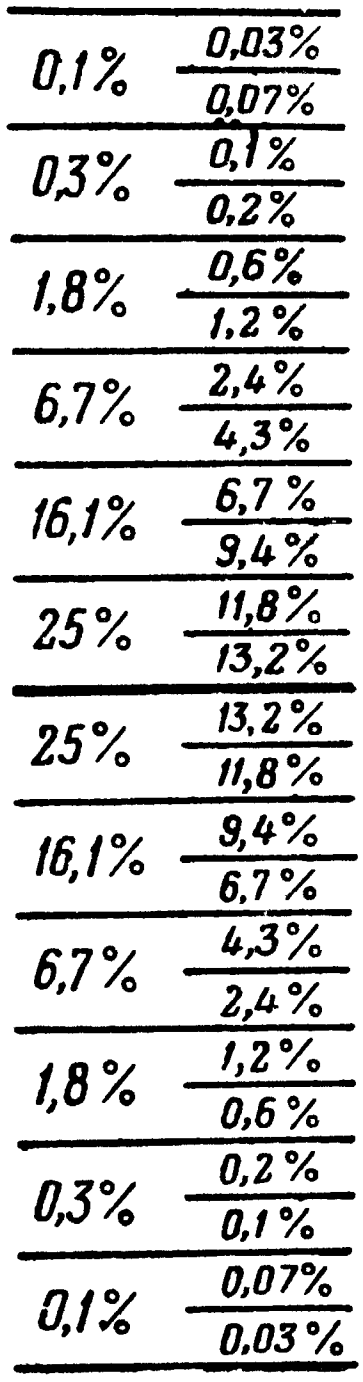


Рис. 123. Распределение попаданий по полосам, равным 1 *Вв* и 0,5 *Вв*, при достаточно большом числе выстрелов

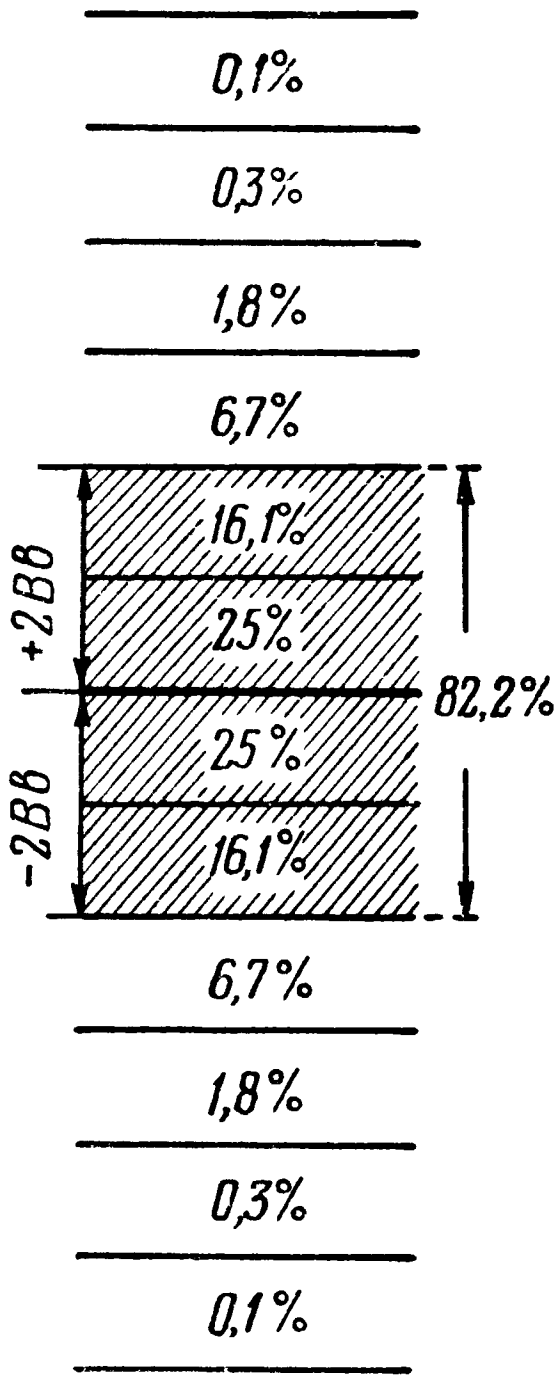


Рис. 124. Процент попаданий в полосу, равную ±2 *Вв*

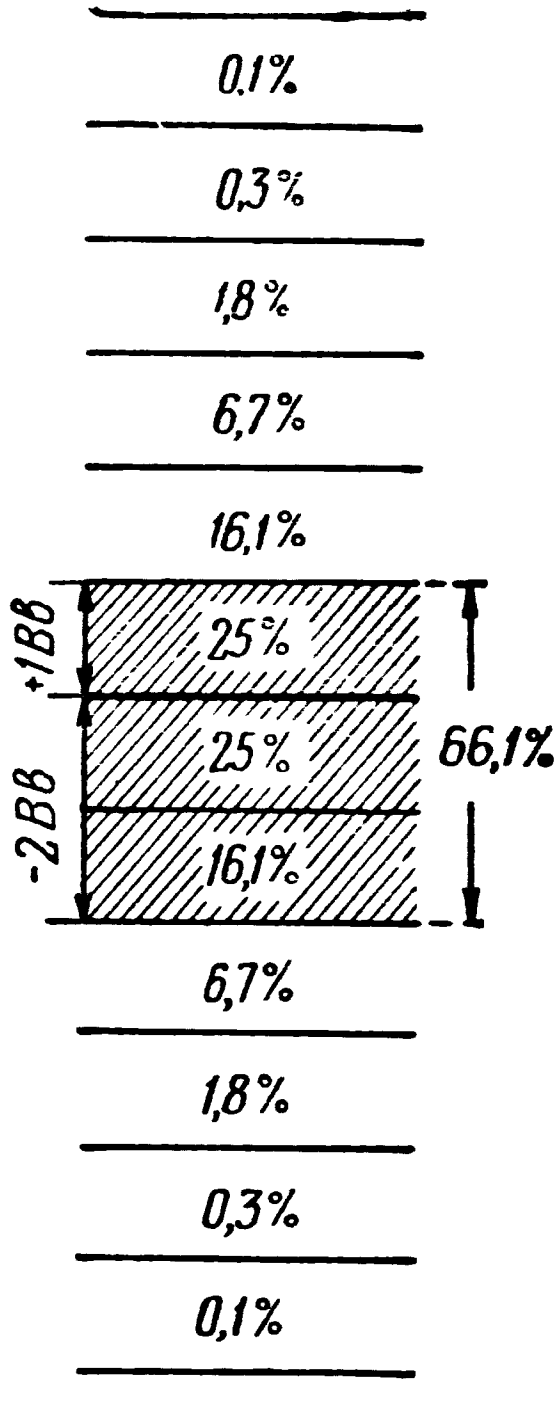


Рис. 125. Процент попаданий в полосу от +1 *Вв* до —2 *Вв*

Таков же характер распределения попаданий по боковому направлению (как на вертикальной, так и на горизонтальной плоскости) и по дальности (на горизонтальной плоскости).

Пользуясь приведенными данными численного выражения закона рассеивания, можно определять процент попаданий в любую полосу в пределах площади рассеивания. Так, например, в полосе в пределах ± 2 *Вв* (рис. 124) окажется $2(25\% + 16{,}1\%) = 82{,}2\%$; в полосе в пределах от $+1$ *Вв* до -2 *Вв* (рис. 125) окажется $25\% + 25\% + 16{,}1\% = 66{,}1\%$ и т. д.

При расчетах, требующих большой точности, процент попаданий в полосы любых размеров (выраженные в срединных отклонениях)

можно находить по таблице значений Ф (β) (см. приложение, табл. 2).

Пример 1. Определить процент попаданий в полосу, равную ±1,2 *Bв* (рис. 126).

Р е ш е н и е. По табл. 2 (см. приложение) находим, что

$$\Phi(1{,}2) = 0{,}582, \text{ или } 58{,}2\%.$$

Пример 2. Определить процент попаданий в полосу в пределах от +0,75 *Bв* до —1,3 *Bв* (рис. 127).

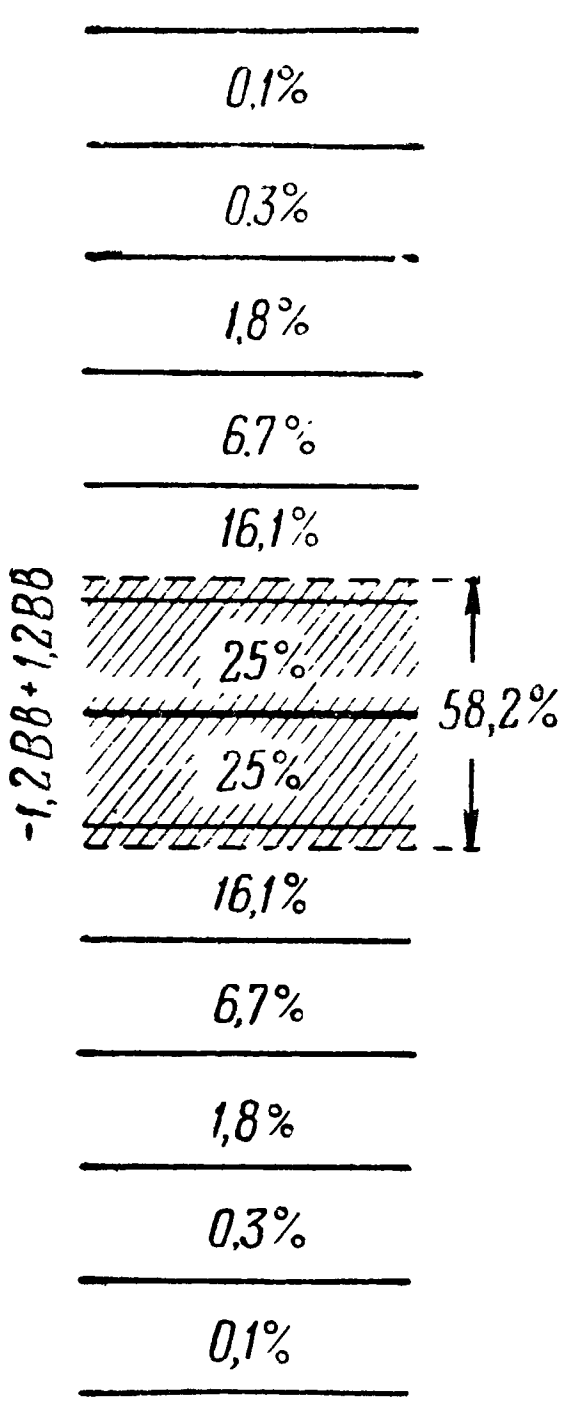


Рис. 126. Процент попаданий в полосу, равную ±1,2 *Bв*

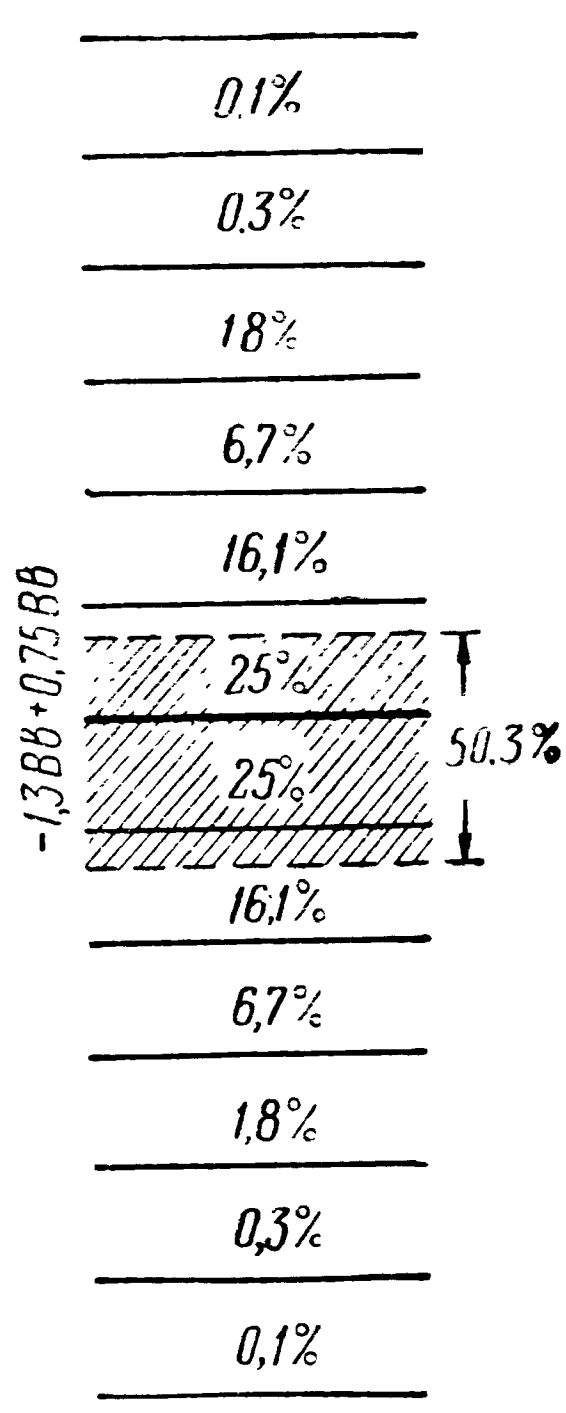


Рис. 127. Процент попаданий в полосу от +0,75 *Bв* до —1,3 *Bз*

Р е ш е н и е. По табл. 2 (см. приложение) находим, что Ф (0,75) = 0,387, а Ф (1,30) = 0,619. Процент попаданий в полосу равен

$$\frac{1}{2}(0{,}387 + 0{,}619) = 0{,}503, \text{ или } 50{,}3\%.$$

По данным численного выражения закона рассеивания (см. рис. 123) видно, что отклонения пуль от оси рассеивания, превышающие 4 *B* (4 срединных отклонения), маловероятны.

На основании этого и с целью упрощения расчетов обычно считают, что вся площадь рассеивания (по высоте, по боковому на-

правлению, по дальности) покрывается восемью полосами (по 4 полосы в обе стороны от оси рассеивания), равными одному срединному отклонению каждая. Процентное распределение пуль по полосам при этом округляют, считая, что по мере удаления полос в обе стороны от оси рассеивания в них окажется по 25%, 16%, 7%, 2% от общего числа всех попаданий.

Шкала, показывающая процентное распределение попаданий в полосы, равные одному срединному отклонению или его части, называется **шкалой рассеивания** (рис. 128).

Итак, одной из мер рассеивания является срединное (вероятное) отклонение. Эта мера очень удобна, так как она полностью характеризует закон рассеивания. Зная величину срединных отклонений и шкалу рассеивания, легко представить всю площадь рас-

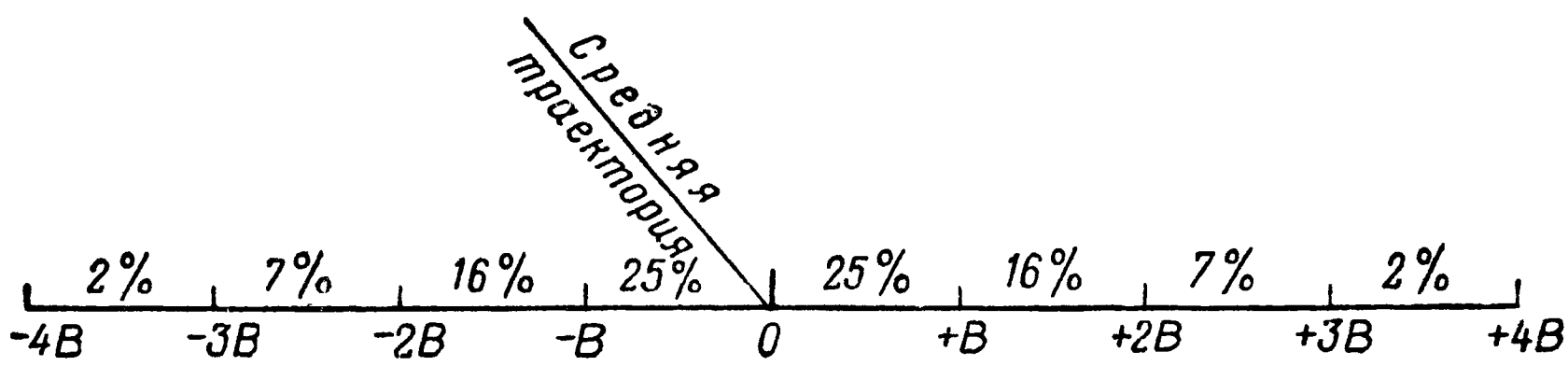


Рис. 128. Шкала рассеивания

сеивания, состоящую из восьми срединных отклонений по данному направлению. Например, если $Bв = 20$ *см* и $Bб = 15$ *см*, то всю площадь рассеивания можно считать равной по высоте $20 \cdot 8 = 160$ *см* и по боковому направлению $15 \cdot 8 = 120$ *см*.

Зная величины срединных отклонений и шкалу рассеивания, можно сделать вывод о плотности распределения пробоин (точек разрывов снарядов) в районе цели, находящейся в любом удалении от центра рассеивания, и на основании этого принять решение для дальнейшей стрельбы.

Пример. Ведется стрельба из миномета; $Bд = 20$ *м*. Установлено, что центр рассеивания находится ближе цели на 2,5 *Bд*. Представив себе шкалу рассеивания, можно заключить, что цель расположена в полосе площади рассеивания, содержащей 7% попаданий. Для более надежного поражения цели необходимо увеличить дальность стрельбы на 50 *м* (2,5 *Bд*), тогда цель будет накрыта полосой лучшей половины попаданий.

Эллипс рассеивания. До сих пор мы рассматривали рассеивание траекторий только в одном каком-либо направлении. Теперь рассмотрим характер рассеивания траекторий или распределения попаданий на площади.

Так как рассеивание траекторий в любом направлении следует нормальному закону, площадь рассеивания, получаемая в результате совместного действия рассеивания по двум направлениям (по общему правилу сложения векториальных ошибок на плоскости),

будет иметь вид **эллипса.** Это видно из рис. 129, на котором показано численное распределение попаданий (в процентах) на вертикальной плоскости (с точностью до 0,1%).

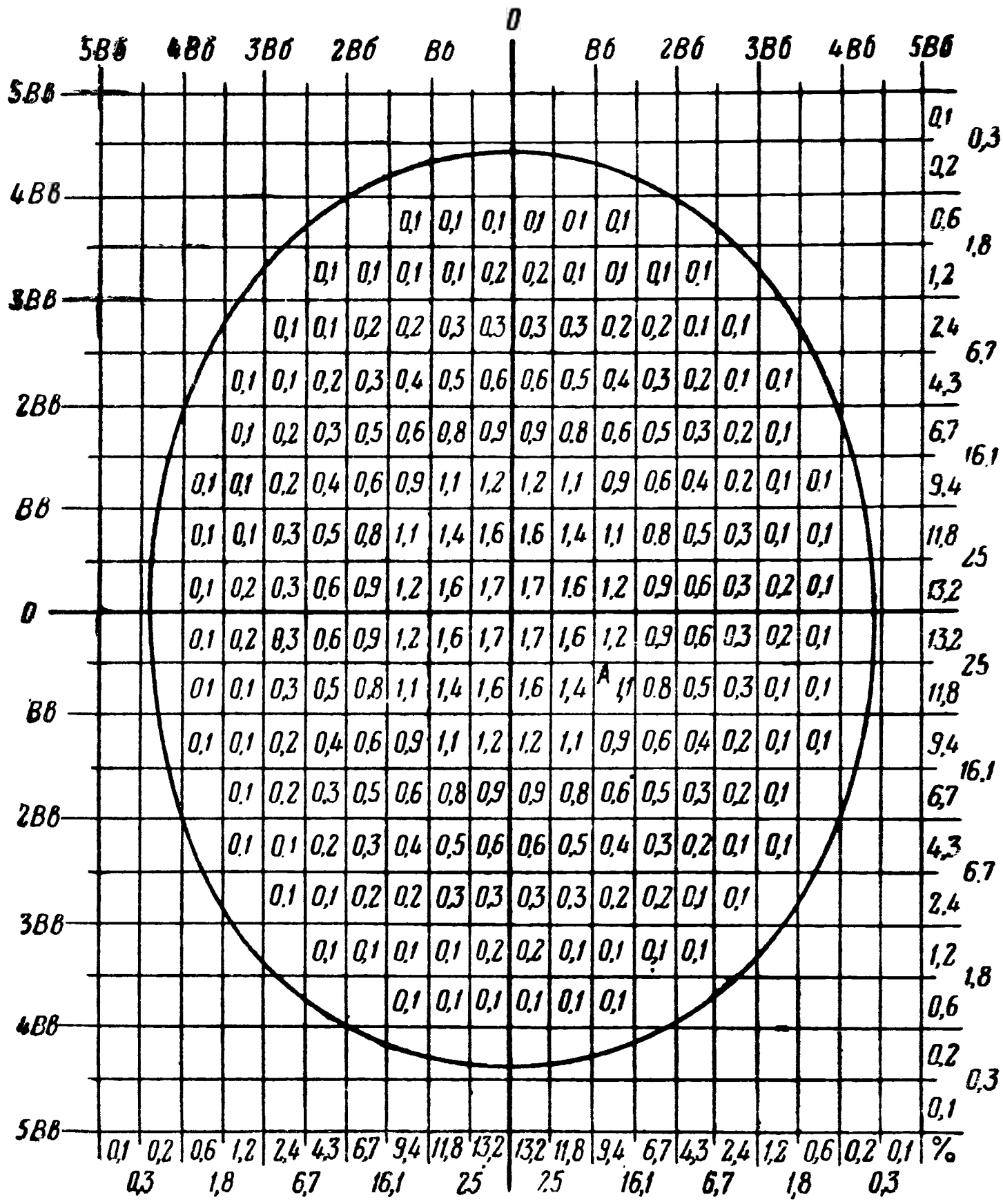


Рис. 129. Эллипс рассеивания

Расчет распределения попаданий по прямоугольникам высотой 0,5 *Вв* и шириной 0,5 *Вб* покажем на примере. Так, прямоугольник *А* образовался в результате пересечения двух полос: вертикальной, содержащей 9,4% попаданий, и горизонтальной, содержащей 11,8% попаданий. Очевидно, что из 9,4% попаданий, относящихся ко всей вертикальной полосе, на прямоугольник *А* приходится только 11,8%, т. е. 11,8% от 9,4%, или $\frac{11{,}8 \cdot 9{,}4}{100} = 1{,}1\%$ от общего числа всех попаданий.

Сердцевинная полоса и сердцевина рассеивания

На рис. 130 воспроизведены те же попадания, что и на рис. 120. Найдем по этим данным величину среднего квадратического отклонения B_2.

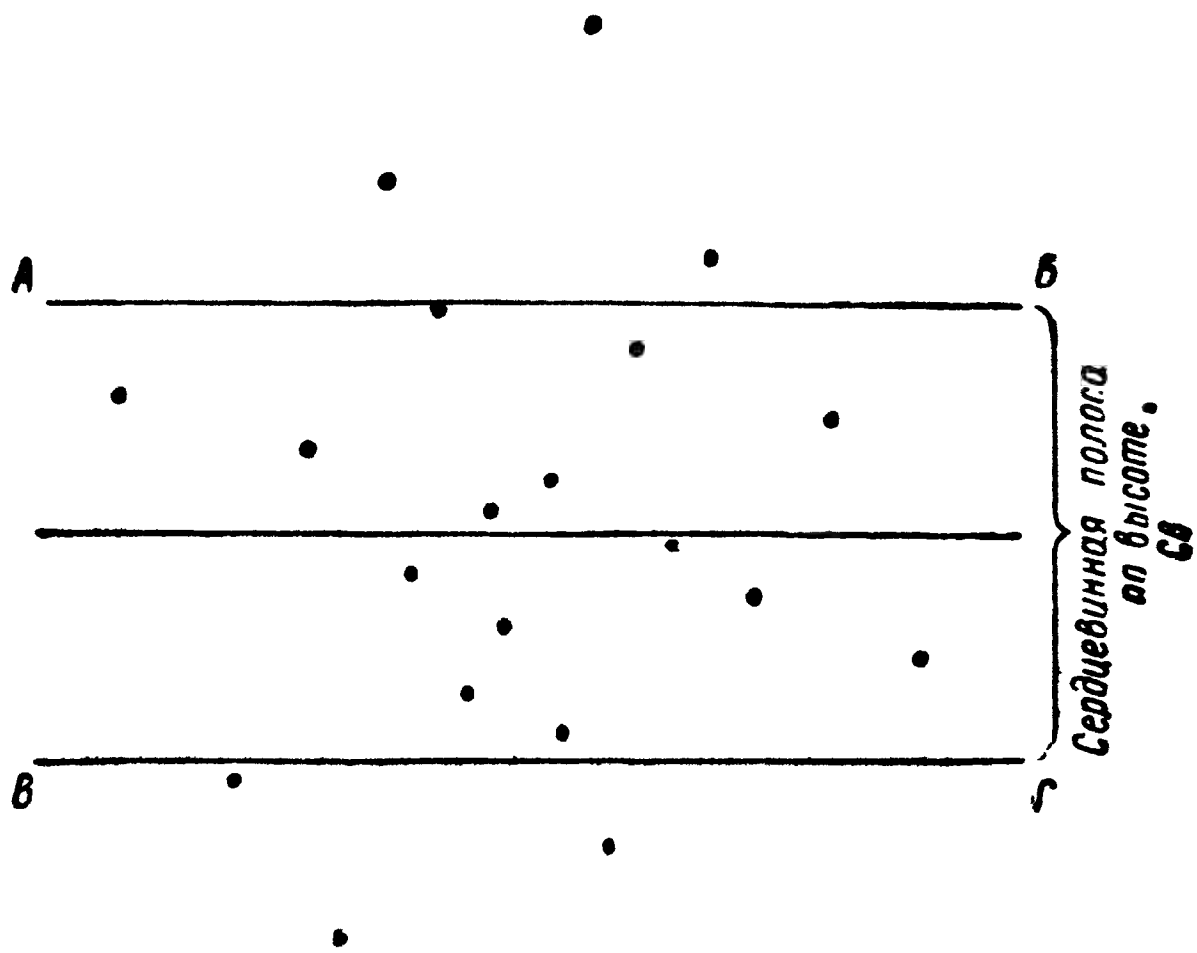


Рис. 130. Определение сердцевинной полосы рассеивания через среднее квадратическое отклонение

Как и средняя квадратическая ошибка, оно равно квадратному корню из суммы квадратов всех отклонений, деленной на число отклонений без одного:

$$B_2 = \sqrt{\frac{2^2+3^2+5^2+7^2+8^2+11^2+12^2+15^2+16^2+18^2+21^2+24^2+26^2+29^2+32^2+36^2+41^2+46^2+53^2+67^2}{19}} =$$

$$= \sqrt{\frac{17140}{19}} = \sqrt{902} \approx 30 \ (см).$$

Если от оси рассеивания отложим отрезки вверх и вниз, равные среднему квадратическому отклонению, и через концы этих отрезков проведем прямые $АБ$ и $ВГ$, параллельные оси рассеивания, то получим полосу $АБВГ$. Как видно из рисунка, в эту полосу вошли 14 попаданий, что составляет 70% от всего числа попаданий ($14 : 20 = 0{,}70 = 70\%$). В полосу $АБВГ$, равную $\pm B_2$, вошли все те попадания, отклонения которых меньше среднего квадратического отклонения.

Мы рассмотрели частный случай с небольшим числом выстрелов. Рассмотрим этот вопрос в общем виде и определим, каков должен быть процент попаданий в полосе $\pm B_2$, если будет произведено достаточно большое число выстрелов.

Известно, что между срединным отклонением B и средним квадратическим отклонением B_2 существует следующая зависимость:

$$B = \frac{2}{3} B_2, \text{ или, точнее, } B = 0{,}6745\, B_2.$$

На основании этого:

$$B_2 = \frac{B}{0{,}6745} = \frac{1}{0{,}6745} B \approx 1{,}483B.$$

По таблице Ф (β) (см. приложение, табл. 2) находим, что Ф (1,483) = 0,683, или 68,3%.

Таким образом, мы нашли, что при достаточно большом числе выстрелов полоса, равная $\pm B_2$, содержит в себе 68,3% всех попаданий. В эту полосу входят все те попадания, отклонения которых от оси рассеивания меньше среднего квадратического отклонения. Такая полоса называется сердцевинной полосой.

С целью упрощения расчетов число попаданий, входящих в сердцевинную полосу, округляют до 70%. Тогда вне этой полосы

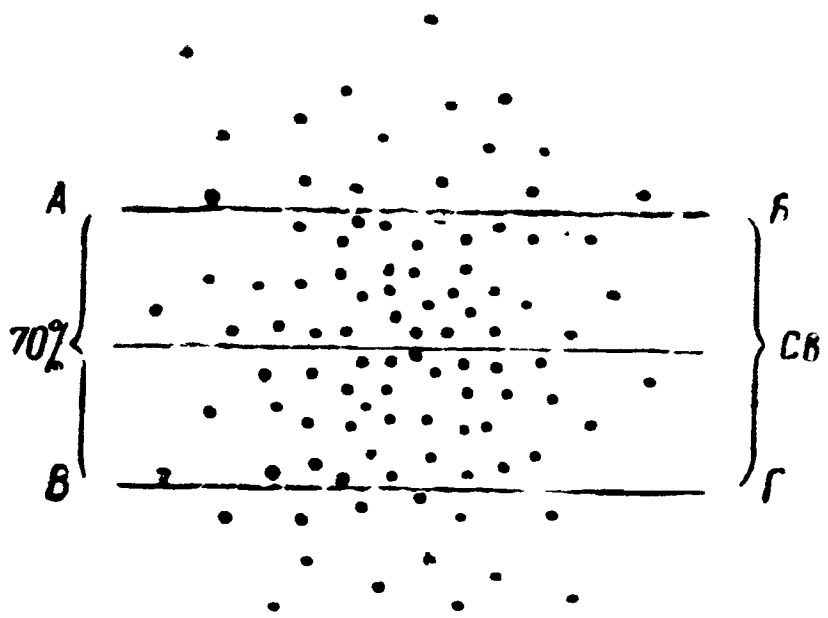


Рис. 131. Определение сердцевинной полосы рассеивания путем отсчета по 35% попаданий в обе стороны от оси рассеивания

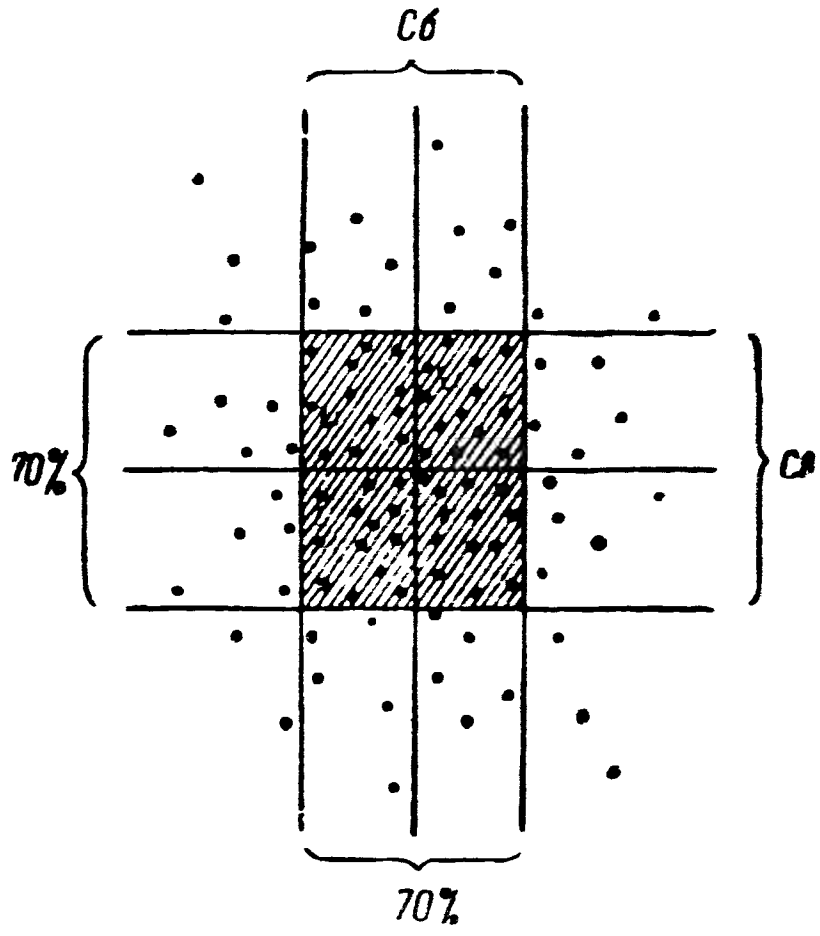


Рис. 132. Сердцевинные полосы по высоте и по боковому направлению. Сердцевина рассеивания

будет находиться 30% всех попаданий — по 15% в каждую сторону от сердцевинной полосы рассеивания.

На основании этого наиболее часто употребляется такое определение сердцевинной полосы: полоса рассеивания, содержащая в себе 70% попаданий и симметрично расположенная вдоль оси рассеивания, называется **сердцевинной полосой.**

Сердцевинные полосы рассматриваются и обозначаются: по высоте *Св*, по боковому направлению *Сб* и по дальности *Сд*.

На рис. 131 показано 100 попаданий, полученных при стрельбе по вертикальному щиту в возможно одинаковых условиях. Чтобы найти сердцевинную полосу по высоте, нужно вверх и вниз от оси рассеивания отсчитать по 35% попаданий и отделить их прямыми, параллельными оси рассеивания. Полоса *АБВГ*, содержащая 70% попаданий, и будет являться сердцевинной полосой рассеивания по высоте *Св*.

Как видно из рисунка, сердцевинная полоса составляет около $^1/_3$ всей площади рассеивания по данному направлению. Таким со-

отношением между сердцевинной полосой и всей площадью рассеивания очень часто пользуются при решении огневых задач для всех видов стрелкового оружия.

Размеры сердцевинных полос для каждого образца стрелкового оружия при стрельбе на любую дальность через каждые 100 *м* указаны в таблицах стрельбы. По этим таблицам легко определить величину полного рассеивания по любому направлению.

Пример. При стрельбе из станкового пулемета легкой пулей на дальность 800 *м* сердцевинные полосы согласно таблицам стрельбы равны: по высоте 1,2 *м*, по боковому направлению 0,92 *м* и по дальности 67 *м*. Поэтому величина полного рассеивания на вертикальной плоскости будет равна: по высоте $1{,}2 \cdot 3 = 3{,}6$ *м* и по боковому направлению $0{,}92 \cdot 3 = 2{,}76$ *м*; величина полного рассеивания на горизонтальной плоскости будет равна: по дальности $67 \cdot 3 = 201$ *м*, по боковому направлению $0{,}92 \cdot 3 = 2{,}76$ *м*.

При пересечении сердцевинных полос двух разных направлений получается прямоугольник, который называется **сердцевиной рассеивания** (рис. 132).

Если каждая сердцевинная полоса в отдельности (по высоте и по боковому направлению) содержит в себе 70% попаданий, то сердцевина рассеивания, образуемая пересечением этих двух полос, содержит в себе 70% от 70%, т. е. $\frac{70 \cdot 70}{100} = 49\%$, а с округлением 50%.

Прямоугольник, образуемый пересечением двух сердцевинных полос и включающий в себя лучшую половину (50%) всех попаданий, называется **сердцевиной рассеивания.**

Как видно из рис. 132, площадь сердцевины, составляющая относительно небольшую часть всей площади рассеивания, содержит в себе наиболее плотно расположенную половину всех попаданий.

При некоторых теоретических расчетах, не требующих большой точности, делают допущение о равномерном распределении попаданий в пределах сердцевины рассеивания. На основании этого (с учетом сказанного выше) можно прийти к практическому выводу о том, что для надежного поражения мелкой цели (при соответствующем расходе патронов) достаточно захватить ее сердцевиной рассеивания.

Итак, мы рассмотрели две меры рассеивания, срединное (вероятное) отклонение и сердцевинную полосу. Установим зависимость между ними.

Обратимся к таблице значений Ф (β). Находим, что сердцевинная полоса, содержащая в себе 70% попаданий, включает все те попадания, отклонения которых в обе стороны от оси рассеивания (вверх и вниз, вправо и влево) не превышает примерно 1,54 *В*. Следовательно, ширина этой полосы равна $1{,}54 \cdot 2 = 3{,}08$ *В*.

На основании этого считают (округленно), что сердцевинная полоса равна трем соответствующим срединным отклонениям (по 1,5 отклонения в каждую сторону), т. е.:

$$Св = 3Вв; \quad Сб = 3Вб; \quad Сд = 3Вд. \qquad (68)$$

Пример. По таблице находим, что при стрельбе из ручного пулемета на дальность 500 *м* сердцевинные полосы равны: *Св* = 81 *см*; *Сб* = 78 *см*. Следовательно: *Вв* = 81 : 3 = 27 *см*; *Вб* = 78 : 3 = 26 *см*.

Радиус круга, вмещающего лучшую половину попаданий

При стрельбе из стрелкового оружия на близкие расстояния площадь рассеивания на вертикальной плоскости приближается к форме круга. В этих случаях о величине рассеивания можно судить не только по сердцевинным полосам и срединным отклонениям, но также и по радиусу круга, вмещающего лучшую половину попаданий R_{50}, или по радиусу круга, вмещающего все попадания R_{100}.

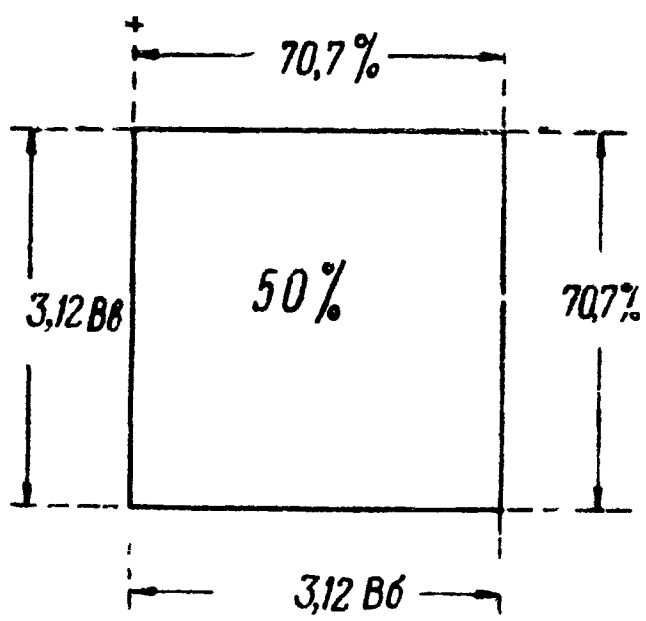


Рис. 133. Квадрат, включающий 50% всех попаданий, причем центр рассеивания совпадает с центром квадрата

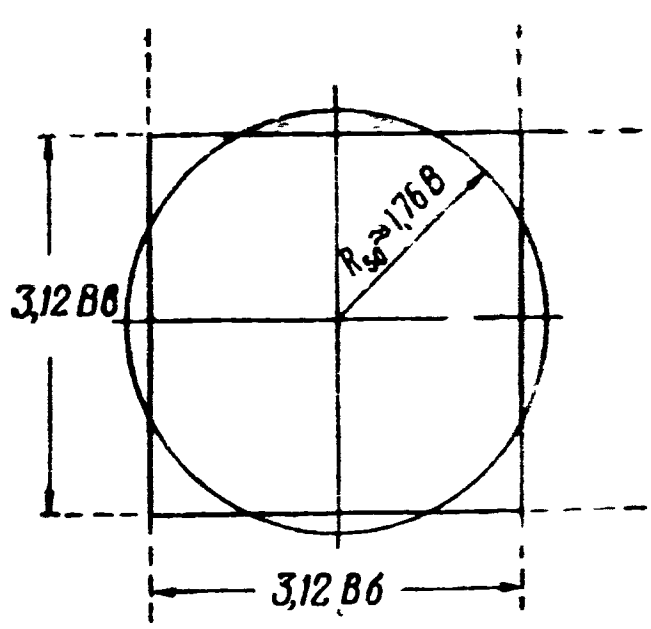


Рис. 134. Квадрат и круг, содержащие по 50% всех попаданий

Для нахождения величины R_{50} можно поступить так. Найти центр рассеивания (среднюю точку попадания), установить в него ножку циркуля и подыскать такой радиус, при котором очерченная окружность будет включать в себя лучшую половину попаданий. Подобным же способом можно найти величину R_{100}, подыскав наименьший радиус, вмещающий все попадания. Это — графический способ определения величины R_{50} и R_{100}, точность которого зависит от числа попаданий. Вполне понятно, что с увеличением числа попаданий точность определения величины радиусов рассеивания увеличивается.

Рассмотрим аналитический способ определения величины R_{50}, точность которого значительно выше графического способа, в особенности при небольшом числе выстрелов. Для этого прежде всего нужно установить зависимость между R_{50} и срединным отклонением (имеется в виду случай, когда $Bв = Bб$).

На рис. 133 изображен квадрат, центр которого совпадает с центром рассеивания. Положим, что этот квадрат включает в себя 0,5 (50%) всех попаданий. Определим сторону и площадь этого квадрата, выразив их в величинах B.

Если рассматриваемый квадрат включает в себя половину (0,50) попаданий, то, очевидно, он образуется пересечением двух взаимно-перпендикулярных полос, включающих по $\sqrt{0{,}50} = 0{,}707$ попаданий каждая. По таблице значений $\Phi(\beta)$ находим, что полоса, содержащая 0,707 попаданий, включает в себя все те попадания, отклонения которых в обе стороны от оси рассеивания (вверх и вниз, вправо и влево) не превышают 1,56 B. Следовательно, ширина каждой полосы (вертикальной и горизонтальной), или величина любой стороны квадрата, равна

$$1{,}56\,B \cdot 2 = 3{,}12\,B.$$

Площадь этого квадрата равна $(3{,}12\,B)^2$.

На рис. 134 на тот же квадрат наложен круг, площадь которого равна площади квадрата. Можно считать, что при таких условиях равновеликие площади квадрата и круга будут содержать равные числа попаданий. Если площадь квадрата содержит в себе 0,50 попаданий, то столько же попаданий будет и на площади круга.

Определим радиус круга, площадь которого равна площади квадрата со стороной, равной 3,12 B. Составим равенство:

$$\pi R_{50}^2 = (3{,}12B)^2,$$

откуда

$$R_{50} = \sqrt{\frac{(3{,}12B)^2}{3{,}14}} = \frac{3{,}12B}{1{,}77} \approx 1{,}76B.$$

Таким образом, радиус круга, содержащего 50% попаданий, равен:

$$R_{50} = 1{,}76B. \qquad (69)$$

Пользуясь этой зависимостью и зная величину срединного отклонения, легко найти величину радиуса круга, вмещающего лучшую половину попаданий.

Пример. При стрельбе из автомата одиночными выстрелами на дальность 200 *м* табличная величина $Bв = 7$ *см* и $Bб = 7$ *см*.

Определить величину R_{50}.

Решение:

$$R_{50} = 1{,}76B = 1{,}76 \cdot 7 \approx 12{,}3 \text{ см}.$$

Величину R_{50} можно найти и в тех случаях, когда срединные отклонения по высоте и по боковому направлению не равны между собой. В таких случаях величина B берется равной $\sqrt{Bв \cdot Bб}$. Тогда

$$R_{50} = 1{,}76 \cdot \sqrt{Bв \cdot Bб}. \qquad (69а)$$

Пример. При стрельбе из карабина на расстояние 200 *м* табличная величина $Bв = 6$ *см* и $Bб = 4$ *см*.

Определить величину R_{50}.

Решение:

$$R_{50} = 1{,}76\sqrt{Bв \cdot Bб} = 1{,}76\sqrt{6 \cdot 4} = 1{,}76 \cdot 4{,}9 \text{ см} \approx 8{,}6 \text{ см}.$$

В предыдущем примере при определении R_{50} мы пользовались средними значениями *Вв* и *Вб*, взятыми из таблиц. Чтобы определить величину R_{50} в каждом частном случае стрельбы, исходя из расположения попаданий, надо поступить так:

— провести оси рассеивания по высоте и по боковому направлению;

— измерить отклонения попаданий относительно этих осей;

— найти величину среднего квадратического отклонения B_2 по высоте и по боковому направлению;

— пользуясь зависимостью $B = {}^2/_3\, B_2$, найти величину *Вв* и *Вб*;

— по формуле (69а) найти величину R_{50}.

Рассмотрим соотношение между величинами R_{100} и R_{50}.

Как было установлено, $R_{50} = 1{,}76\ B$. Если считать, что полное рассеивание равно $\pm 4\ B$, то

$$R_{100} = (4 : 1{,}76)\, R_{50} \approx 2{,}3 R_{50};$$

если же считать, что полное рассеивание равно $\pm 6\ B$, то

$$R_{100} = (6 : 1{,}76)\, R_{50} \approx 3{,}4 R_{50}.$$

Обычно считают, что

$$R_{100} = 2{,}5 R_{50} \div 3 R_{50}.$$

Соотношение между величинами рассеивания по высоте и по дальности

Чтобы найти соотношение между величинами рассеивания по высоте и по дальности, рассмотрим рис. 135, на котором изображены две траектории, проходящие на расстоянии одного срединного отклонения одна от другой. Следовательно, величина AB есть срединное отклонение по высоте *Вв*, а AC — срединное отклонение по дальности *Вд*.

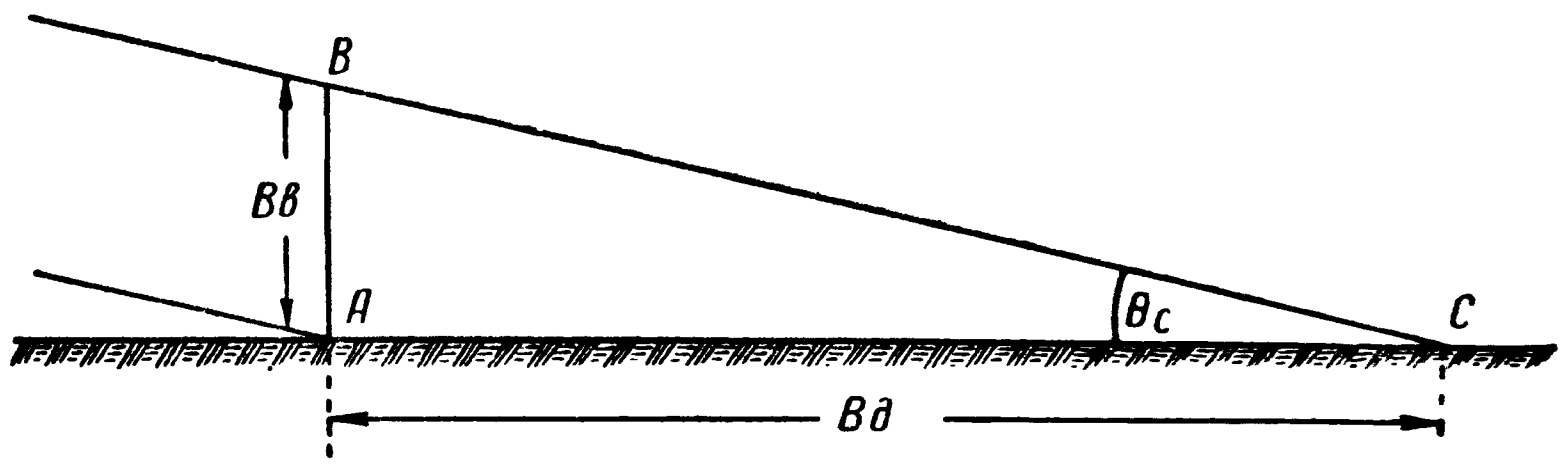


Рис. 135. Зависимость между величинами рассеивания по высоте и по дальности

Без больших погрешностей можно считать, что на небольших участках снопа траекторий концы их являются прямыми. Тогда между *Вв* и *Вд* будет следующее соотношение:

$$Bв = Bд \cdot \operatorname{tg} \theta_c \quad \text{или} \quad Bд = \frac{Bз}{\operatorname{tg} \theta_c}.$$

Для стрелкового оружия углы падения θ_c малы. Значение тангенса малого угла без больших погрешностей можно заменить величиной этого угла в делениях угломера (в тысячных), деленной на 1000. На основании этого выражение, характеризующее соотношение между *Вв* и *Вд*, можно написать так:

$$Вв = \frac{Вд \cdot \theta_c}{1000}, \tag{70}$$

$$Вд = \frac{Вз \cdot 1000}{\theta_c}. \tag{71}$$

Точно так же:

$$Св = \frac{Сд \cdot \theta_c}{1000}, \tag{70а}$$

$$Сд = \frac{Сз \cdot 1000}{\theta_c}. \tag{71а}$$

Пример 1. Определить величину *Вв* при стрельбе из станкового пулемета легкой пулей на дальность 800 *м*, если *Вд* = 22 *м*, а $\theta_c = 0\text{-}18$.

Решение:

$$Вз = \frac{Вд \cdot \theta_c}{1000} = \frac{22 \cdot 18}{1000} = 0{,}396 \text{ м}.$$

Пример 2. Определить величину *Сд* при стрельбе из ротного пулемета на дальность 900 *м*, если *Св* = 1,7 *м*, а $\theta_c = 0\text{-}25$.

Решение:

$$Сд = \frac{Св \cdot 1000}{\theta_c} = \frac{1{,}7 \cdot 1000}{25} = 68 \text{ м}.$$

Табличные значения характеристик рассеивания и рассеивание данного момента

Для каждого вида оружия имеются таблицы, в которых указаны величины сердцевинных полос и срединных отклонений, характеризующие рассеивание на различных расстояниях через каждые 100 *м*. Величины этих характеристик рассеивания выявляются практически — стрельбой. Из большого числа стрельб, проведенных в различных условиях на одно и то же расстояние, получают различные значения срединных отклонений (сердцевинных полос), на основании которых находят средние значения этих величин и принимают их за истинные (табличные) значения.

Из этого следует, что при использовании оружия в войсках частные значения характеристик рассеивания могут быть больше или меньше средних (табличных) значений.

Дело в том, что причины, вызывающие рассеивание траекторий, не остаются постоянными для всех случаев стрельбы, следовательно, и величина рассеивания для данного образца оружия при стрельбе на одну и ту же дальность не может быть постоянной. Так, например, в одном случае стрельбы патроны могут быть более

высокого качества, чем в другом, поэтому и рассеивание при стрельбе в первом случае меньше, чем во втором. Величина рассеивания при стрельбе на одну и ту же дальность зависит и от таких причин, как условия погоды, условия видимости цели и точки прицеливания, устойчивость установки оружия (пулемета, миномета), качество упора для карабина и т. п. Вполне понятно, что величина рассеивания зависит и от степени подготовки стрелка. Чем лучше подготовлен стрелок, тем меньше ошибки в изготовке и прицеливании, тем меньше рассеивание.

Рассеивание, относящееся к определенному времени стрельбы, называется **рассеиванием данного момента.**

Под срединным отклонением (сердцевинной полосой) данного момента понимается такое срединное отклонение (сердцевинная полоса), которое характеризовало бы распределение пробоин или точек встречи, если бы в данный момент произвести большое число выстрелов. Опытные данные показывают, что срединные отклонения (сердцевинные полосы) данного момента могут быть в полтора — два раза больше или меньше табличных. Это необходимо учитывать при выработке некоторых правил стрельбы. Так, например, при обосновании правил безопасности стрельбы поверх своих подразделений учитывают возможность получения максимального рассеивания (данного момента) по высоте, принимая для расчетов табличное рассеивание, увеличенное в два раза.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА РАССЕИВАНИЯ (СРЕДНЕЙ ТОЧКИ ПОПАДАНИЯ) ПРИ НЕБОЛЬШОМ ЧИСЛЕ ВЫСТРЕЛОВ

Порядок определения положения центра рассеивания (средней точки попадания), рассмотренный в начале данной главы, дает достаточно точный результат только при большом числе выстрелов.

При нескольких выстрелах (2—5) положение центра рассеивания (средней точки попадания) определяется способом последовательного деления отрезков (графическим способом). Порядок определения средней точки попадания этим способом подробно описан в наставлениях по стрелковому делу.

Если число выстрелов более 5, положение центра рассеивания удобно находить так, как находится средний результат по ряду измерений (способом вычисления).

Поясним это на примере. Положим, что на расстояние 200 *м* произведено 10 прицельных выстрелов из карабина по вертикальному щиту; получено 10 пробоин, как показано на рис. 136. Требуется найти положение центра рассеивания.

Найдем сначала ось рассеивания по высоте (горизонтальную ось), для чего на щите проведем произвольно горизонтальную линию *АБ*. Пусть эта линия будет ниже всех пробоин. Измерим величину отклонения каждой пробоины (в сантиметрах) относительно

АБ. По данным отклонений всех пробоин найдем средний результат:

$$x_{ср_1} = \frac{24+8+33+28+14+3+38+25+17+30}{10} = 22 \text{ см}.$$

От горизонтальной линии *АБ* отложим вверх 22 *см* и проведем линию *ОХ*, параллельную *АБ*. Линию *ОХ* принимаем за ось рассеивания по высоте.

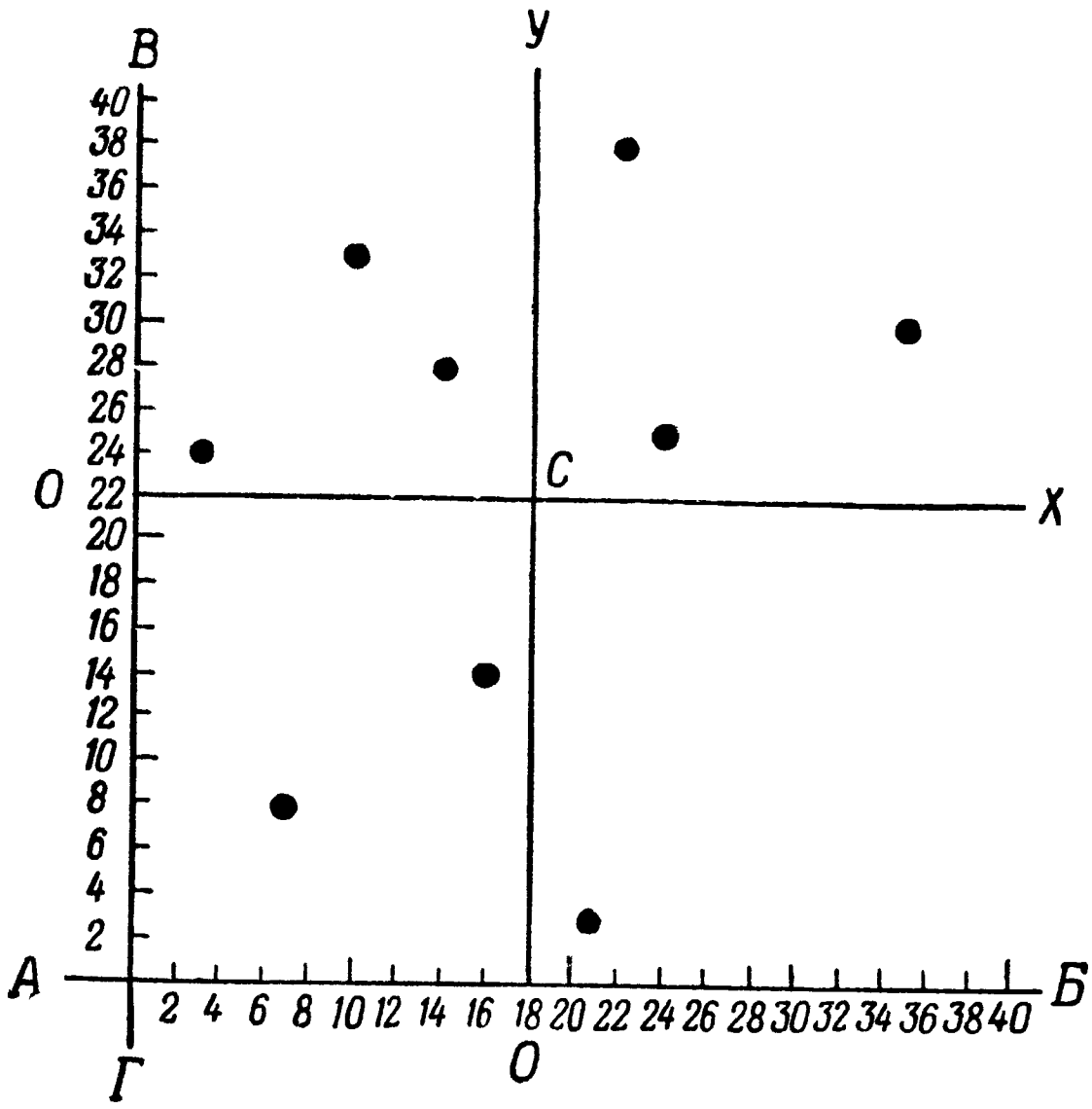


Рис. 136. Определение положения центра рассеивания методом нахождения арифметической средины (методом вычисления); произвольные линии проведены вне расположения пробоин

Точно так же найдем ось рассеивания по боковому направлению (вертикальную ось), для чего на щите проведем произвольно вертикальную линию *ВГ*. Пусть эта линия будет левее всех пробоин. Измерим величину отклонения каждой пробоины (в сантиметрах) по боковому направлению относительно линии *ВГ*. По данным отклонений всех пробоин найдем средний результат:

$$x_{ср_2} = \frac{22+10+35+14+24+3+28+16+7+21}{10} = 18 \text{ см}.$$

От вертикальной линии *ВГ* отложим вправо 18 *см* и проведем линию *ОУ*, параллельную *ВГ*. Линию *ОУ* принимаем за ось рассеивания по боковому направлению. Пересечение осей *ОХ* и *ОУ* принимаем за центр рассеивания или среднюю точку попадания.

В рассмотренном примере произвольные горизонтальная и вертикальная линии *АБ* и *ВГ* были проведены вне расположения про-

боин. Следует заметить, что эти линии могут проходить и в расположении пробоин. В таких случаях для нахождения оси рассеивания по высоте или по боковому направлению нужно взять алгебраическую сумму отклонений всех пробоин, деленную на число пробоин.

Ошибки в определении положения центра рассеивания. Определяя положение центра рассеивания, мы каждый раз допускаем какую-то ошибку, величина которой остается неизвестной. На основании закона ошибок, если известна величина срединного отклонения по тому или иному направлению, можно найти срединную ошибку в определении положения центра рассеивания по данному направлению.

Эта задача решается по формуле срединной ошибки среднего результата (см. стр. 166), которую применительно к рассеиванию выстрелов можно написать так:

$$R = \frac{B}{\sqrt{n}}, \qquad (72)$$

где R — срединная ошибка в определении положения центра рассеивания по тому или иному направлению;
B — срединное отклонение по данному направлению;
n — число наблюдений (пробоин или разрывов).

Вернемся к рис. 136, где по расположению 10 пробоин найден центр рассеивания в точке C. Так как количество пробоин небольшое, то истинное положение центра рассеивания может оказаться где-то выше или ниже, правее или левее точки C. В этом можно убедиться, если в тех же условиях продолжить стрельбу до накопления большого числа пробоин.

По условиям этого примера (см. рис. 136) найдем срединную ошибку в определении положения центра рассеивания по высоте. Для этого необходимо сначала найти величину *Вв*. Измерив отклонения пробоин относительно оси рассеивания по высоте, получим: $+2$, -14, $+11$, $+6$, -8, -19, $+16$, $+3$, -5, $+8$ *см*.

Для повышения точности расчетов найдем величину *Вв* по среднему квадратическому отклонению:

$$Вв = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2^2+14^2+11^2+6^2+8^2+19^2+16^2+3^2+5^2+8^2}{9}} \approx 7{,}3 \text{ см}.$$

Теперь найдем срединную ошибку в определении положения центра рассеивания по высоте, зная, что $Вв = 7{,}3$ *см*.

$$R = \frac{B}{\sqrt{n}} = \frac{7{,}3}{\sqrt{10}} \approx 2{,}3 \text{ см}.$$

Это означает, что при достаточно большом числе выстрелов в тех же условиях центр рассеивания может быть выше или ниже точки C: в пределах $\pm 2{,}3$ *см* с вероятностью, равной 50%, в пределах $\pm 4{,}6$ *см* с вероятностью 82% и т. д.

Подобным путем можно найти и срединную ошибку в определении положения центра рассеивания по боковому направлению.

5. РАССЕИВАНИЕ ПРИ СТРЕЛЬБЕ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ МИНОМЕТОВ ИЛИ ПУЛЕМЕТОВ

При стрельбе минометным (пулеметным) взводом по одной цели ко всем приведенным ранее причинам рассеивания добавляется разнобой минометов (пулеметов), заключающийся в разности дальностей и направлений полета мин у минометов (пуль у пулеметов) при одинаковых установках прицельных приспособлений. Поэтому и величина рассеивания при стрельбе взводом несколько больше, чем при стрельбе одним минометом (пулеметом).

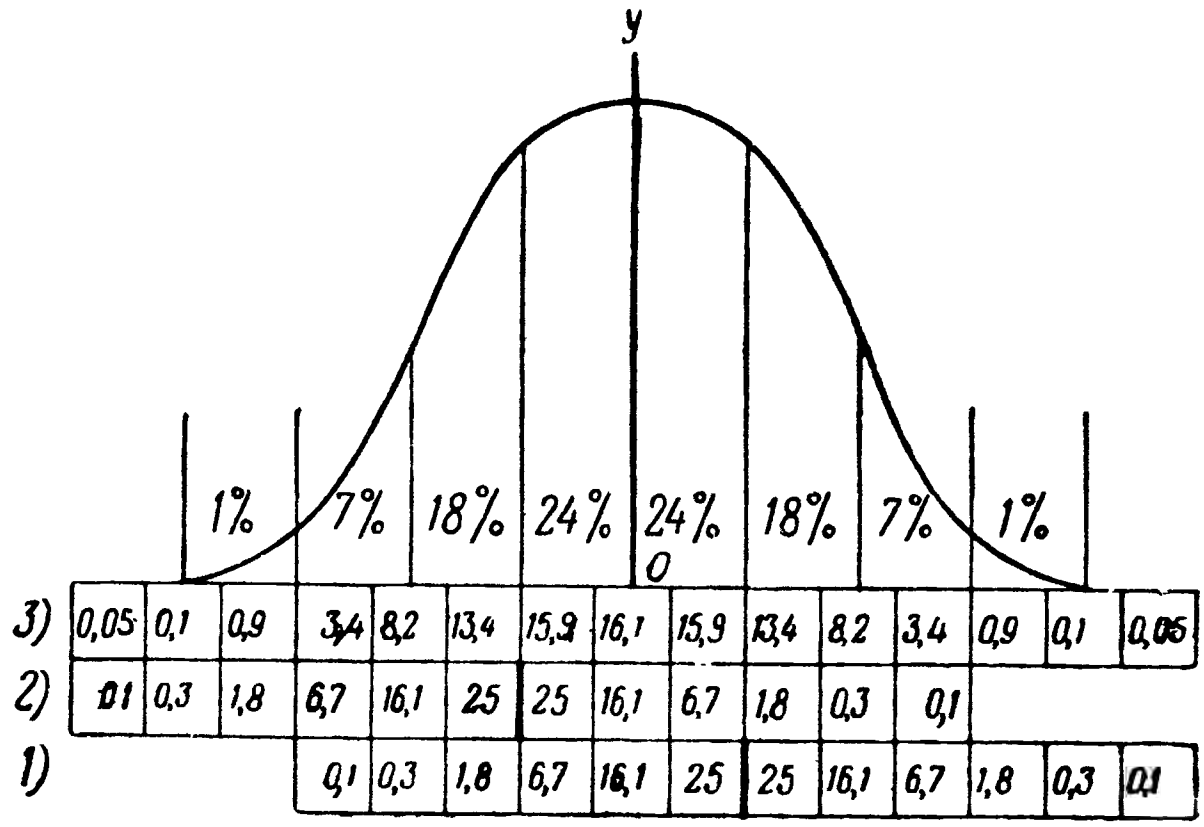


Рис. 137. Рассеивание мин по дальности при стрельбе из двух минометов, когда разнобой минометов равен 3 *Вд*

К основным причинам, вызывающим разнобой минометов (пулеметов), относятся следующие: неточность приведения пулеметов к нормальному бою; неточность выверки прицельных приспособлений у минометов; неодинаковый износ каналов стволов, что неодинаково отражается на разнообразии начальных скоростей.

Разнобой выявляется практически, путем сострелки минометов или пулеметов во взводе на разные дальности, на основании чего при стрельбе по целям вносятся поправки в установки прицельных приспособлений. Однако и при таких условиях полного устранения разнобоя не может быть. Это объясняется неизбежностью получения ошибок при определении центров рассеивания отдельных минометов (пулеметов) во время сострелки и при учете разнобоя, т. е. при переводе разницы дальностей полета мин (пуль) в деления прицельных приспособлений.

Рассмотрим величину и характер рассеивания по дальности при стрельбе двумя минометами в двух случаях стрельбы: первый случай — когда разнобой минометов равен 3 *Вд* (рис. 137), второй случай — когда разнобой минометов равен 4 *Вд* (рис. 138). Про-

центное распределение точек падения мин по дальности для каждого миномета показано в горизонтальных строках 1 и 2. В строке 3 показано процентное распределение точек падения мин по дальности для двух минометов. По полученным значениям процентного распределения точек падения мин (в строке 3) проведены ординаты и вершины их соединены плавной кривой, которая наглядно характеризует распределение мин по дальности при стрельбе из двух минометов. В том и другом случаях произведен перерасчет распределения мин на 8 новых срединных отклонений (по 4 срединных

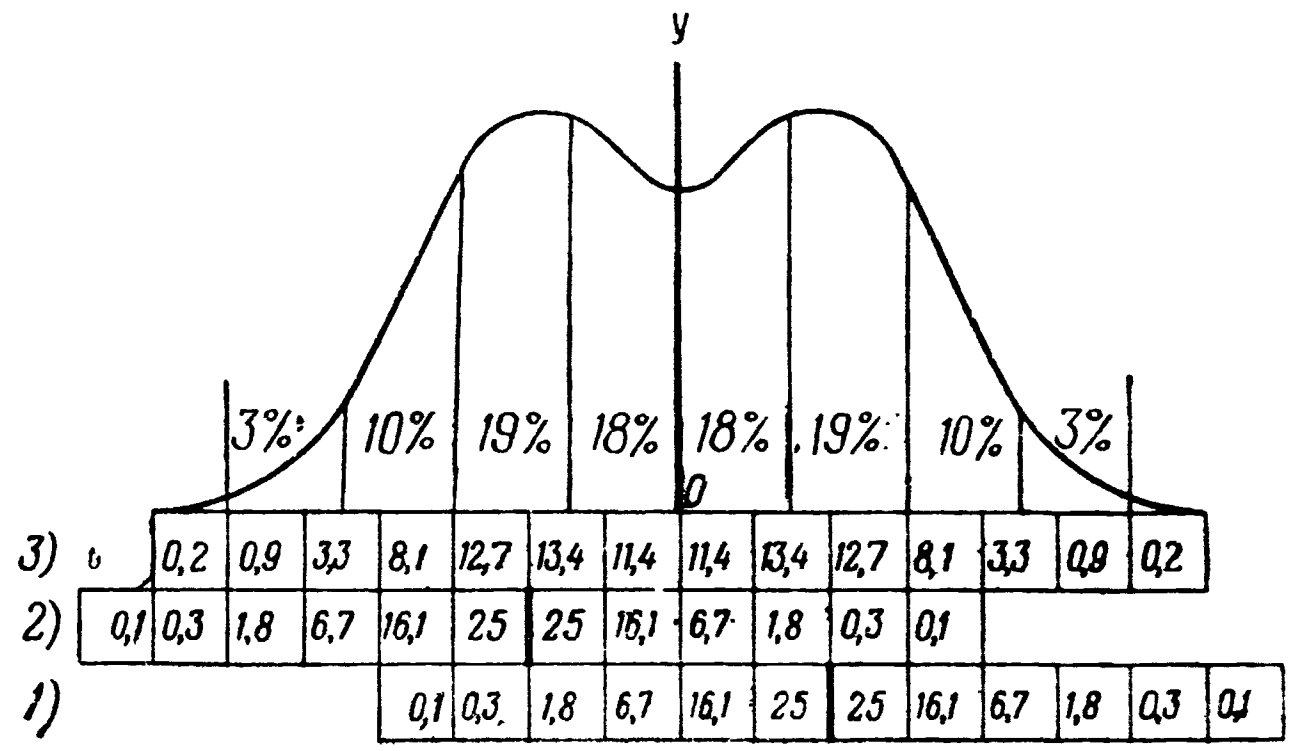


Рис. 138. Рассеивание мин по дальности при стрельбе из двух минометов, когда разнобой минометов равен 4 *Вд*

отклонения в обе стороны от оси *OY*). Полученные численные значения нового распределения мин показаны в верхнем ряду цифр.

Сравнивая кривые, а также численные распределения точек падения мин на рис. 137 и 138, можно заметить следующее.

В первом случае, когда разнобой минометов равен 3 *Вд*, кривая и численное распределение мин по дальности приближаются к закону рассеивания для одного миномета. Следовательно, закон рассеивания при стрельбе взводом при наличии разнобоя минометов, не превышающего 3 *Вд*, можно принять за нормальный закон.

Во втором случае, когда разнобой минометов равен 4 *Вд*, распределение мин по дальности нельзя считать даже приближенно подчиняющимся нормальному закону, так как наиболее кучное падение мин получается не на середине всей площади рассеивания.

Из этого можно сделать такой вывод: правила стрельбы, разработанные на основе закона рассеивания для одного миномета (пулемета), применимы и для стрельбы минометным (пулеметным) взводом, но только в том случае, когда разнобой минометов (пулеметов) небольшой, в пределах 3 *Вд*.

6. РАССЕИВАНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ СТРЕЛЬБЫ

Зависимость величины рассеивания от дальности стрельбы

Отдельно взятые причины, вызывающие рассеивание, по-разному влияют на его величину при изменении дальности стрельбы. Например, если бы мы рассматривали изменение величины рассеивания по боковому направлению в зависимости только от разнообразия в направлениях стрельбы (при отсутствии влияния других причин), то легко представить, что в этом случае величина рассеивания по боковому направлению изменялась бы пропорционально дальности стрельбы. В этих условиях величина рассеивания, выраженная в тысячных, по отношению к дальности стрельбы была бы постоянной величиной. Точно так же изменялось бы рассеивание по высоте при изменении дальности стрельбы, если бы оно зависело только от разнообразия углов бросания.

Но есть и такие причины рассеивания, в результате которых величина его изменяется непропорционально увеличению дальности стрельбы. К таким причинам можно отнести разнообразие начальных скоростей пуль.

Совокупное влияние одновременно действующих различных причин рассеивания приводит к тому, что величина его по высоте и боковому направлению возрастает с изменением дальности стрельбы не пропорционально дальности, а несколько быстрее.

В этом можно убедиться при рассмотрении табл. 15, где приведены средние значения величин полного рассеивания (в тысячных) при стрельбе из станкового пулемета на различные дальности.

Таблица 15

Дальность стрельбы, *м*	100—300	400—600	700—900	1000—1200
8 *Вв* (в тысячных)	3,0	3,4	3,9	4,4
8 *Вб* (в тысячных)	2,6	2,9	3,0	3,1

Из таблицы видно, что увеличение рассеивания по боковому направлению происходит несколько медленнее, чем по высоте. Поэтому с увеличением дальности стрельбы эллипс рассеивания постепенно становится более вытянутым по высоте.

Теперь рассмотрим, как изменяется величина рассеивания по дальности с увеличением дальности стрельбы.

Известно, что $Сд = \frac{Св \cdot 1000}{\theta_c}$. Как видно из этого выражения, с увеличением *Св* сердцевинная полоса рассеивания по дальности увеличивается, а с увеличением θ_c — уменьшается. Если бы с увеличением дальности стрельбы значения *Св* и θ_c увеличивались в одинаковой степени, то величина сердцевинной полосы рассеивания по дальности оставалась бы постоянной для всех дальностей стрельбы. Значит, изменения величины рассеивания по дальности

будут зависеть от того, какая величина с увеличением дальности стрельбы возрастает быстрее — *Св* или θ_c.

В табл. 16 приведены значения *Сд*, *Св* и θ_c при стрельбе из станкового пулемета легкой пулей на различные дальности через каждые 500 *м*.

Таблица 16

Дальность стрельбы, *м*	500	1000	1500	2000	Примечание
Св в метрах	0,63	1,61	2,78	8,5	С увеличением *Св* величина *Сд* увеличивается
θ_c в тысячных	6,4	30	81	166	С увеличением θ_c величина *Сд* уменьшается
Сд в метрах	98	53	36	51	

Из таблицы видно следующее:

1. С увеличением дальности стрельбы из станкового пулемета от 500 до 1500 *м* *Сд* **уменьшается, так как** *Св* **возрастает в меньшей степени, чем** θ_c. Если *Св* увеличилось только в 4,4 раза ($2{,}78 : 0{,}63 \approx \approx 4{,}4$), то θ_c увеличился в 12,7 раза ($81 : 6{,}4 \approx 12{,}7$).

2. С увеличением дальности стрельбы из станкового пулемета от 1500 до 2000 *м* *Сд* **увеличивается, так как** *Св* **возрастает в большей степени, чем** θ_c. Если *Св* увеличилось в 3,06 раза ($8{,}5 : 2{,}78 \approx 3{,}06$), то θ_c увеличился в 2,05 раза ($166 : 81 \approx 2{,}05$).

Подобная закономерность характерна и для остальных образцов стрелкового оружия, имеющих высокие начальные скорости и большую настильность траекторий.

Особенностью стрельбы из минометов является то, что с увеличением дальности стрельбы (при том же заряде) величина угла падения не увеличивается, а уменьшается. Поэтому и величина рассеивания по дальности с увеличением дальности стрельбы все время возрастает.

При стрельбе из стрелкового оружия на близкие расстояния симметричный по высоте сноп траекторий при пересечении с горизонтальной плоскостью образует несимметричную площадь рассеивания, в которой ближняя половина точек падения располагается на меньшей глубине, чем дальняя их половина. Так, например, при стрельбе из станкового пулемета на расстояние 400 *м* ближняя часть *Сд* (35% точек падения) располагается на глубине 30 *м*, а дальняя часть *Сд* (остальные 35% точек падения) — на глубине 90 *м*.

Для оружия с большой настильностью траекторий на малые дальности стрельбы табличные значения сердцевинной полосы рассеивания по дальности принято брать для горизонтальной плоскости, проходящей на 10 *см* ниже точки вылета. Расходящиеся из точки вылета настильные траектории пересекают горизонтальную

плоскость на различных расстояниях под различными углами падения — чем ближе окажутся траектории, тем больше будут углы падения. Известно, что с увеличением угла падения величина рассеивания по дальности уменьшается, поэтому ближняя часть полного рассеивания, содержащая половину всех точек падения, будет меньше дальней части полного рассеивания, содержащей другую половину всех точек падения. Точно так же ближняя часть *Сд*, содержащая 35% точек падения, будет меньше дальней ее части, содержащей остальные 35% точек падения.

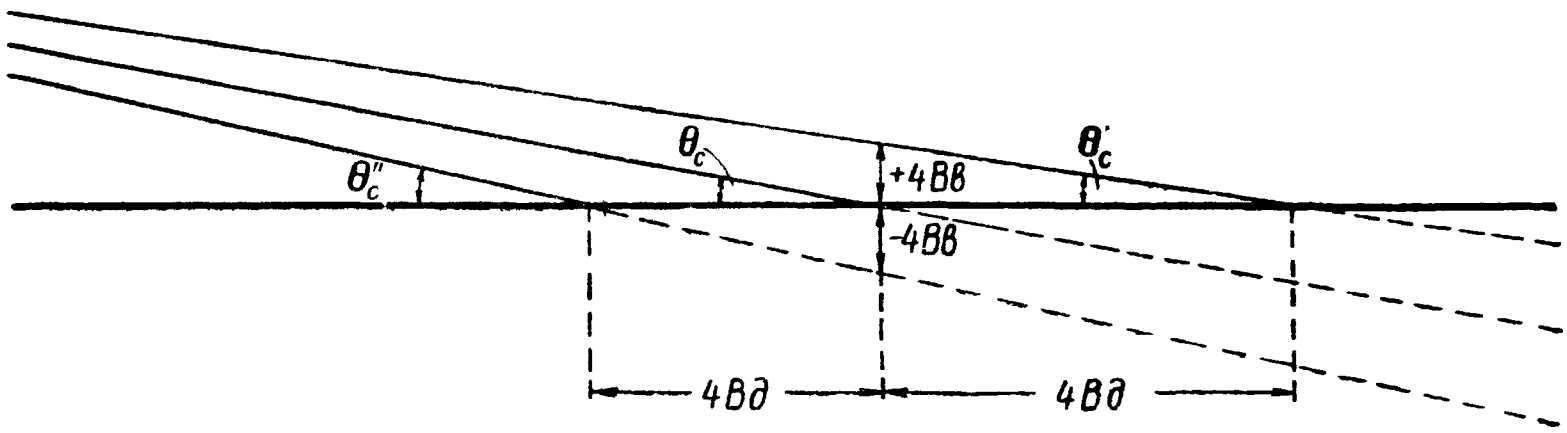


Рис. 139. Несимметричное рассеивание пуль по дальности при стрельбе на малые расстояния

Поясним это чертежом. На рис. 139 изображена нисходящая часть снопа траекторий, обозначенная тремя траекториями: средней, крайней верхней (дальней) и крайней нижней (ближней). Из рисунка видно, что сноп траекторий симметричен по высоте, так как отрезки, соответствующие +4 *Вв* и —4 *Вв*, одинаковы.

Если средняя траектория пересекает горизонтальную плоскость под углом θ_c, то крайняя дальняя траектория — под меньшим углом θ'_c, а крайняя ближняя траектория — под бóльшим углом θ''_c. Углам θ''_c и θ'_c соответствуют одинаковые значения 4 *Вв* и первый угол больше второго; из этого следует, что ближняя половина точек падения располагается на меньшей глубине, чем дальняя их половина.

Подобные рассуждения применимы для стрельбы не только на близкие, но и на любые расстояния; однако с увеличением расстояния разница в углах падения для крайних траекторий постепенно теряет свое практическое значение, поэтому считают, что при стрельбе на дальние расстояния распределение пуль по дальности на любой плоскости симметрично относительно оси рассеивания.

Зависимость величины рассеивания по дальности от наклона местности

Табличные данные величин сердцевинных полос и срединных отклонений по дальности (*Сд* и *Вд*) характеризуют рассеивание по дальности только по линии прицеливания. Рассеивание по дальности на местности соответствует табличным данным только в тех случаях, когда рельеф местности, на которой падают пули, является

продолжением линии прицеливания, т. е. тогда, когда угол встречи равен углу падения.

Во всех остальных случаях стрельбы, когда угол встречи больше (меньше) угла падения, величина срединного отклонения по дальности будет меньше (больше) табличной.

Мы уже знаем, как изменяется величина угла встречи в зависимости от рельефа местности, поэтому легко можем представить себе, как изменяется срединное отклонение по дальности в зависимости от наклона местности.

При стрельбе по встречному скату или сверху вниз угол встречи больше угла падения, поэтому величина $Вд_м$ меньше табличной величины $Вд$. При стрельбе по обратному скату или снизу вверх угол встречи меньше угла падения, поэтому величина $Вд_м$ больше табличной величины $Вд$.

Следовательно, величина рассеивания ($Вд$, $Сд$) зависит от отношения угла падения θ_c к углу встречи μ.

Установим эту зависимость, для чего рассмотрим рис. 140, на котором представлены три возможных случая стрельбы.

1-й случай (рис. 140, *а*). Местность в районе падения пуль горизонтальная, угол места цели равен нулю. В этом случае угол встречи μ равен углу падения θ_c и величина срединного отклонения по дальности $Вд_м$ равна табличной величине $Вд$.

2-й случай (рис. 140, *б*). Стрельба ведется по встречному скату. Угол встречи μ больше угла падения θ_c, и величина срединного отклонения по дальности $Вд_м$ меньше табличной величины $Вд$.

3-й случай (рис. 140, *в*). Стрельба ведется по обратному скату. Угол встречи μ меньше угла падения θ_c, и величина срединного отклонения по дальности $Вд_м$ больше табличной величины $Вд$.

Из треугольника $АСД$ (рис. 140, *б*) по формуле тысячной

$$Вд = \frac{Вв \cdot 1000}{\theta_c};$$

из треугольника $ВСЕ$:

$$Вд_м = \frac{Вз \cdot 1000}{\mu}.$$

Разделим второе равенство на первое почленно:

$$\frac{Вд_м}{Вд} = \frac{Вв \cdot 1000}{\mu} : \frac{Вв \cdot 1000}{\theta_c}; \quad \frac{Вд_м}{Вд} = \frac{\theta_c}{\mu},$$

отсюда:

$$Вд_м = Вд \frac{\theta_c}{\mu}. \tag{73}$$

Аналогично можно найти, что

$$Сд_м = Сд \frac{\theta_c}{\mu}. \tag{73а}$$

Пример 1. Стрельба ведется из станкового пулемета легкой пулей по встречному скату крутизной 0-50; дальность стрельбы 900 *м*; угол места цели равен минус 0-10.

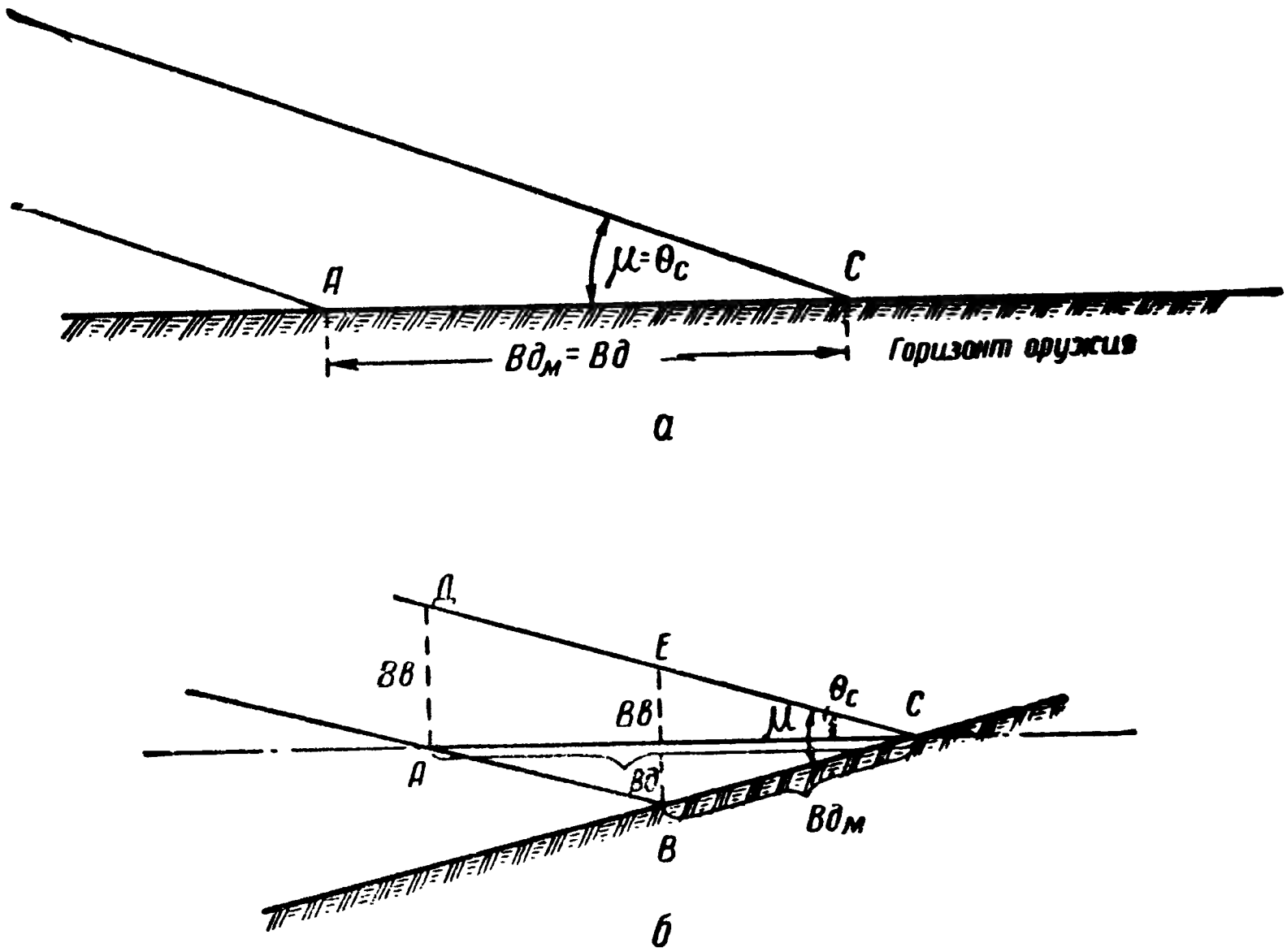


Рис. 140. Зависимость величины рассеивания по дальности от рельефа местности при стрельбе из стрелкового оружия

Определить величину сердцевинной полосы рассеивания по дальности.

Решение:

а) по таблицам стрельбы находим: $Сд = 59$ *м*; $\theta_c = 0\text{-}24$;

б) вычисляем величину угла встречи:

$$\mu = \theta_c \pm \omega - (\pm \varepsilon) = 24 + 50 + 10 = 84\ (0\text{-}84);$$

в) вычисляем величину сердцевинной полосы рассеивания по дальности на местности:

$$Сд_м = Сд \frac{\theta_c}{\mu} = \frac{59 \cdot 24}{84} \approx 17\ м.$$

Пример 2. Стрельба ведется из станкового пулемета легкой пулей по обратному скату крутизной 0-30; дальность стрельбы 1200 *м*; угол места цели равен минус 0-10.

Определить величину сердцевинной полосы рассеивания по дальности.

Решение:

а) $Сд = 43$ *м*; $\theta_c = 0\text{-}47$;

б) $\mu = 47 - 30 + 10 = 27$ (0-27);

в) $Сд_м = Сд \cdot \frac{\theta_c}{\mu} = 43 \cdot \frac{47}{27} \approx 75$ *м*.

Из примеров видно, что незначительные неровности местности оказывают весьма большое влияние на величину рассеивания по дальности. При этом чем меньше угол падения (траектория отложе), тем больше изменяется величина рассеивания в зависимости от неровностей местности.

Траектория мины характеризуется большим углом падения, поэтому при стрельбе из минометов по встречному скату величина *Вд* изменяется несколько иначе, чем при стрельбе из оружия с большой настильностью траекторий.

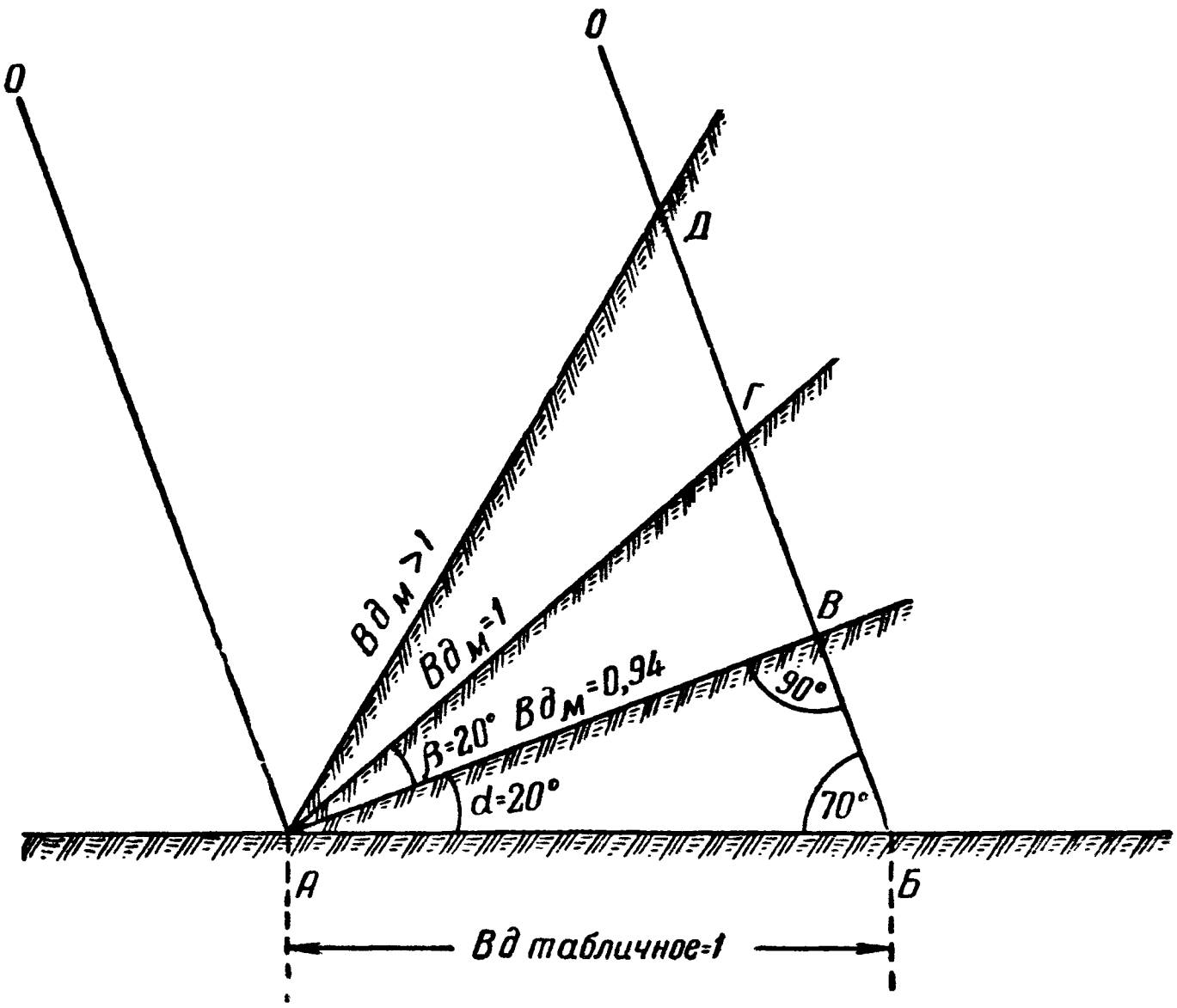


Рис. 141. Зависимость величины рассеивания по дальности от рельефа местности при стрельбе из миномета

На рис. 141 показаны концы двух траекторий *ОА* и *ОБ*, удаленных одна от другой по дальности на величину срединного отклонения; *АБ* — срединное отклонение по дальности на горизонтальной плоскости (табличное), равное единице; *АВ*, *АГ*, и *АД* — срединные отклонения по дальности на скатах разной крутизны.

Из рисунка видно следующее:

1. С увеличением крутизны ската в пределах угла α величина *Вд* постепенно уменьшается и будет наименьшей на скате *АВ*, плоскость которого перпендикулярна к концу средней траектории.

Для того чтобы иметь представление о степени уменьшения *Вд* в зависимости от наклона встречного ската, решим прямоугольный треугольник *АВБ*. Пусть угол *ВБА* (угол падения) равен 70°, тогда угол наклона ската α будет равен 90°—70° = 20°. Линия *АБ* есть гипотенуза, а линия *АВ* — катет, противолежащий углу *ВБА*. Если линия *АБ*, изображающая *Вд* на горизонтальной плоскости, равна единице, то линия *АВ*, изображающая *Вд* на скате $Вд_м$ будет равна 0,94, т. е. синусу угла *ВБА*, равного 70°. Следовательно, при угле падения 70° $Вд_м$ будет иметь наименьшее значение на скате крутизной 20°. В этом случае коэффициент, показывающий степень уменьшения $Вд_м$ по сравнению с табличным значением *Вд*, будет равен 0,94, или величина *Вд* уменьшится всего на 6%.

2. С увеличением крутизны ската в пределах угла β величина $Вд_м$ постепенно увеличивается и на скате *ВГ* будет снова равна табличной величине *Вд* (единице). Очевидно, это произойдет, когда угол β окажется равным углу α. В нашем примере величина $Вд_м$ равна табличной величине *Вд* на скате крутизной 40°.

3. При крутизне ската, превышающей сумму углов α и β, величина $Вд_м$ во всех случаях будет больше табличной величины *Вд*. В нашем примере величина $Вд_м$ будет больше табличной величины *Вд* при крутизне ската, превышающей 40°.

Таков характер изменения величины *Вд* при стрельбе из минометов по встречным скатам.

При стрельбе из минометов по обратным скатам величина $Вд_м$ при любых условиях увеличивается по сравнению с табличной величиной *Вд*.

Из табл. 17 видно, во сколько раз величина $Вд_м$ будет больше или меньше табличной величины *Вд* в зависимости от крутизны ската при стрельбе из 82-*мм* минометов.

Таблица 17

Угол падения в градусах	Встречный скат						Угол падения в градусах	Обратный скат					
	Крутизна ската							Крутизна ската					
	10°	20°	30°	40°	50°	60°		10°	20°	30°	40°	50°	60°
50	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	50	1,2	1,5	2,2	4,2	—	—
55	0,9	0,85	0,8	0,8	0,85	0,9	55	1,15	1,4	1,9	3,2	10,0	—
60	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	60	1,15	1,3	1,7	2,6	5,0	—
65	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1,1	65	1,1	1,3	1,6	2,1	3,5	—
70	0,96	0,94	0,96	1	1,08	1,24	70	1,1	1,2	1,5	1,9	2,8	5,0
75	1	1	1	1,1	1,2	1,4	75	1,1	1,2	1,4	1,7	2,3	3,7
80	1	1	1	1,1	1,3	1,5	80	1	1,1	1,3	1,5	2	2,9
85	1	1	1	1,2	1,4	1,7	85	1	1,1	1,2	1,4	1,8	2,3

Примечание. В большинстве случаев стрельбы из минометов величина углов падения колеблется около 70°.

По данным табл. 17 можно сделать следующие выводы:

— при стрельбе из минометов по встречным скатам изменение величины срединного отклонения по дальности в зависимости от

крутизны ската настолько незначительно, что его можно не принимать в расчет;

— при стрельбе по крутым обратным скатам, которая широко применима из минометов, величина $Вд_м$ будет значительно больше табличной величины $Вд$, что необходимо учитывать при расчете числа установок прицела для обстрела целей, расположенных на скате.

7. ПОРАЖАЕМАЯ ЗОНА ПРИ РАССЕИВАНИИ ТРАЕКТОРИЙ

Площадь рассеивания на местности является поражаемой площадью, так как все цели, находящиеся в его пределах, могут быть поражены.

Поражение той или иной цели возможно и тогда, когда она находится несколько ближе поражаемой площади, в пределах поражаемого пространства. Пространство, в пределах которого может

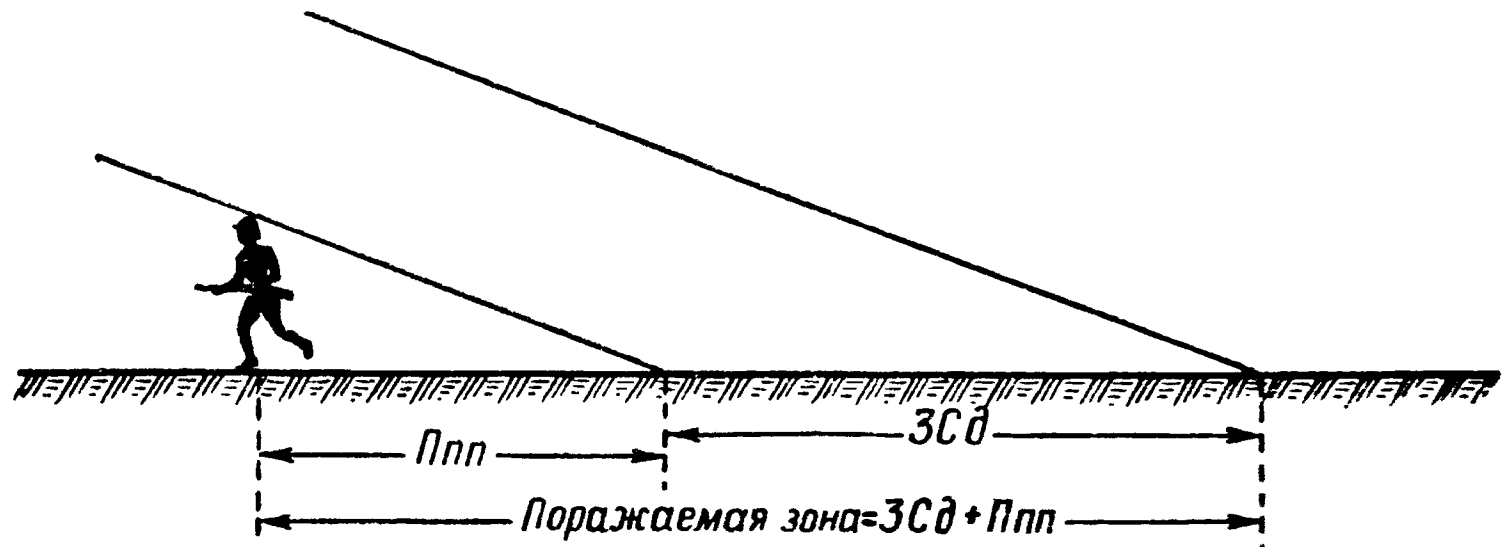


Рис. 142. Поражаемая зона

быть поражена цель определенной высоты при стрельбе на одних и тех же установках прицельных приспособлений, **называется поражаемой зоной.**

Глубина поражаемой зоны на горизонтальной плоскости равна сумме величины полного рассеивания по дальности и величины прицельного поражаемого пространства для данной цели (рис. 142).

Ширина поражаемой зоны равна величине полного рассеивания по боковому направлению.

Рассматривая зависимость величины рассеивания по дальности и величины поражаемого пространства от наклона местности, мы установили, что эти величины зависят от отношения угла падения θ_c к углу встречи μ, т. е.

$$ЗСд_м = ЗСд\frac{\theta_c}{\mu} \text{ и } Ппм = Ппп\frac{\theta_c}{\mu}.$$

Поэтому глубина поражаемой зоны на местности (*Пзм*), представляющая собой сумму $ЗСд_м$ и *Ппм*, вычисляется по формуле:

$$Пзм = (ЗСд + Ппп)\frac{\theta_c}{\mu}. \quad (74)$$

Пример. Стрельба ведется из станкового пулемета легкой пулей по бегущим фигурам (высотой 1,5 *м*), расположенным на встречном скате крутизной 0-50. Дальность стрельбы 1000 *м*. Угол места цели равен минус 0-20. Вычислить глубину поражаемой зоны по местности.

Решение. 1) По таблицам стрельбы находим (для дальности 1000 *м*): сердцевинная полоса по дальности $Сд = 53$ *м*; коэффициент поражаемого пространства $K = 33$; угол падения $\theta_c = 0\text{-}30$.

2) Вычисляем прицельное поражаемое пространство:

$$Ппп = Вц \cdot K = 1{,}5 \cdot 33 \approx 50 \text{ м}.$$

3) Вычисляем угол встречи:

$$\mu = \theta_c \pm \omega - (\pm \varepsilon) = 30 + 50 + 20 = 100\ (1\text{-}00).$$

4) Вычисляем глубину поражаемой зоны по местности:

$$Пзм = (3Сд + Ппп)\frac{\theta_c}{\mu} = (159 + 50)\frac{30}{100} = 209 \cdot \frac{30}{100} \approx 63 \text{ м}.$$

8. ОСОБЕННОСТИ РАССЕИВАНИЯ ПРИ СТРЕЛЬБЕ ИЗ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Среди причин рассеивания, перечисленных в начале данной главы, есть такие, которые оказывают влияние только при автоматической стрельбе.

Предположим, что стрельба ведется короткими очередями с одними и теми же установками прицельных приспособлений, по одной и той же цели, причем перед каждой очередью производится тщательное прицеливание.

Первые выстрелы очередей происходят независимо один от другого, каждый же последующий выстрел (в каждой очереди) зависит от предыдущего, так как происходит при том направлении ствола оружия, какое он принял после предыдущего выстрела. Таким образом, на каждый последующий выстрел влияет изменение положения оружия вследствие отдачи после предыдущего выстрела. Кроме того, для автоматических образцов оружия на последующие выстрелы влияют удары подвижных частей. Из этого следует, что рассеивание последующих пуль должно отличаться от рассеивания первых пуль. Специальные опытные стрельбы подтверждают эти предположения. Установлено, что при стрельбе очередями рассеивание последующих пуль получается, как правило, больше рассеивания первых пуль. В особенности это характерно для более легких видов оружия — автоматов. В этом можно убедиться, рассматривая соответствующие таблицы стрельбы, где указываются размеры характеристик рассеивания (*Св* и *Сб*; *Вв* и *Вб*) отдельно при стрельбе одиночными выстрелами и при стрельбе очередями. Например, при стрельбе из автомата на 200 *м* одиночными выстрелами $Св = 0{,}20$ *м*, $Сб = 0{,}20$ *м*, а при стрельбе очередями $Св = 0{,}35$ *м*, $Сб = 0{,}35$ *м*.

Кроме того, как показали опытные стрельбы из всех видов автоматического стрелкового оружия, между средними точками попадания первых и последующих пуль получается некоторый разрыв (см. рис. 143), причем распределение как тех, так и других (в отдельности) подчиняется нормальному закону.

Величина разрыва между средними точками попадания первых и последующих пуль и величина их рассеивания зависят не только от конструктивных особенностей оружия, но и (в большей степени) от подготовки пулеметчиков (автоматчиков). Как показывает опыт, тщательным обучением стрельбе можно добиться того, что разрыв между средними точками попадания первых и последующих пуль будет небольшой. В таких случаях можно считать, что общее рассеивание всех пуль подчиняется нормальному закону и характеризуется только одной парой срединных отклонений (*Вв* и *Вб*). Так, например, у отлично подготовленных пулеметчиков при стрельбе из ручного или ротного пулемета разрыв между средними точками попадания первых и последующих пуль получается всего лишь в 0,2—0,3 тысячной дальности, что не оказывает никакого влияния на характер общего рассеивания. При недостаточной подготовке пулеметчиков или автоматчиков разрыв между средними точками попадания первых и последующих пуль и рассеивание последующих пуль могут быть значительными, что необходимо учитывать при решении огневых задач.

Таковы общие особенности рассеивания пуль при стрельбе очередями. Разберем теперь конкретнее характер рассеивания при ведении огня из различных видов стрелкового оружия.

Рассеивание пуль при стрельбе из станкового пулемета

В силу наличия устойчивого станка размеры рассеивания первых и последующих пуль при стрельбе из станкового пулемета получаются одинаковыми, поэтому разделять очередь на первые и последующие пули не имеет смысла.

Механизмы станка позволяют искусственно увеличивать рассеивание по фронту и по дальности. При стрельбе с рассеиванием по фронту распределение пуль по фронту в пределах искусственного рассеивания считают равномерным, т. е. на каждый метр фронта приходится одинаковое количество пуль. Рассеивание пуль по высоте подчиняется нормальному закону. Вполне естественно, что величина рассеивания по высоте при этом будет больше табличной, так как в таблицах даны размеры рассеивания при стрельбе в точку. Практикой установлено, что при стрельбе с рассеиванием по фронту рассеивание по высоте увеличивается в 1,5—2 раза (в среднем в 1,75 раза). Это увеличение рассеивания необходимо учитывать при определении вероятности попадания в групповые цели при стрельбе с рассеиванием по фронту.

При стрельбе со всеми закрепленными механизмами рассеивание пуль соответствует табличным нормам. Если слегка открепить механизм горизонтальной наводки, то рассеивание увеличится в 1,5—2 раза.

На кучность стрельбы большое влияние оказывает установка пулемета на огневой позиции. Лучшие результаты получаются при стрельбе с обыкновенного дернистого грунта. При этом желательно,

чтобы место опоры сошника хобота было на одном уровне с осью колес (катков), а тело пулемета стояло вдоль станка. Если тело пулемета будет стоять под некоторым углом к оси станка, то при стрельбе длинными очередями будет наблюдаться сползание пулемета в сторону; это необходимо учитывать при стрельбе.

Рассеивание пуль при стрельбе из ручного и ротного пулеметов

Ручные (ротные) пулеметы с целью обеспечения более высокой маневренности оружия имеют легкие станки (сошку), поэтому рассеивание пуль при стрельбе очередями из ручных и ротных пулеметов всегда больше, чем у станковых пулеметов.

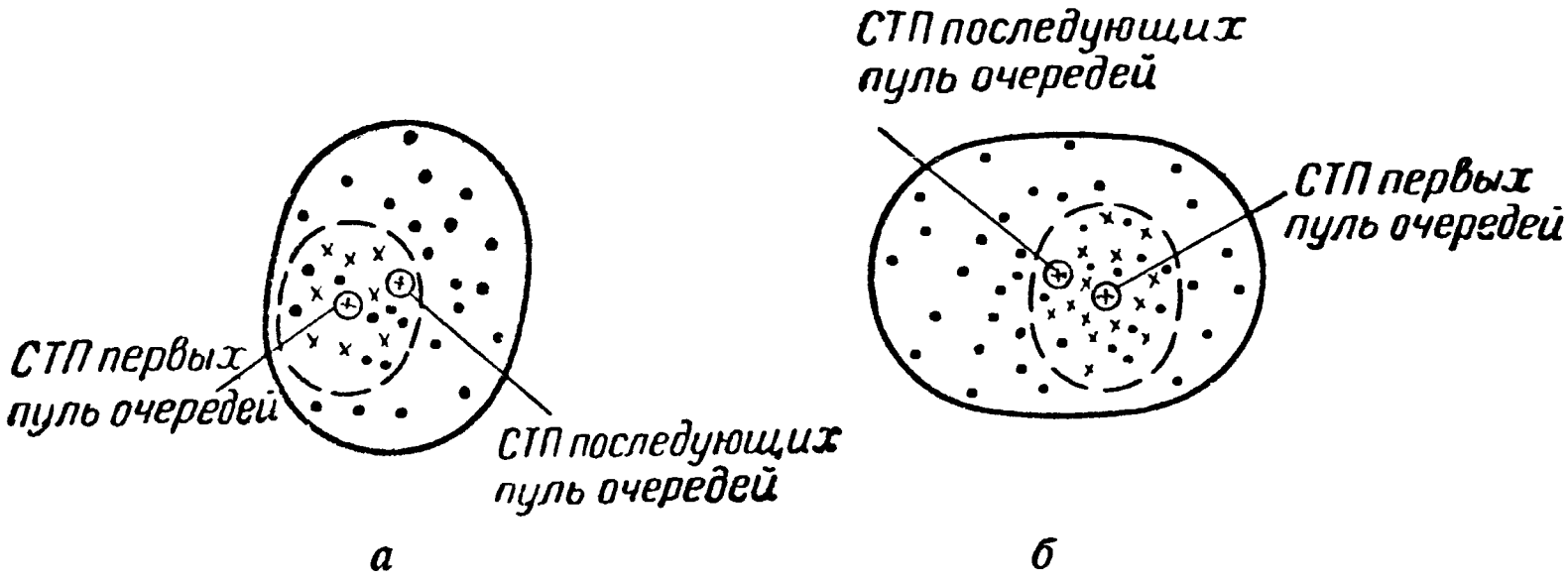


Рис. 143. Рассеивание при стрельбе из ручных и ротных пулеметов: *а* — рассеивание первых и последующих пуль при стрельбе из ротного пулемета; *б* — рассеивание первых и последующих пуль при стрельбе из ручного пулемета

Вследствие отдачи оружия, работы автоматики и реакции пулеметчика на смещение оружия рассеивание последующих пуль очередей значительно превышает рассеивание первых пуль.

Картина суммарного рассеивания пуль при стрельбе из ротного и ручного пулеметов показана на рис. 143. Из рисунка видно, что средняя точка попадания последующих пуль очередей при стрельбе из ротного пулемета находится выше и правее средней точки попадания первых пуль очередей, а при стрельбе из ручного пулемета — выше и левее. Однако это нельзя считать закономерным явлением. Например, из 48 опытных стрельб из ротного пулемета по 10 очередей каждая средняя точка попадания последующих пуль очередей в 26 стрельбах была выше и правее, в 13 стрельбах — выше и левее, в 5 стрельбах — ниже и правее и в 4 стрельбах — ниже и левее средней точки попадания первых пуль очередей. При стрельбе из ручных пулеметов суммарное рассеивание оказывается больше в боковом направлении. Величина отклонений средней точки попадания последующих пуль колеблется в очень широких пределах (до 3 тысячных в любую сторону) и может изменяться от стрельбы к стрельбе.

Следует отметить, что многим пулеметчикам после длительной тренировки удается правильным удержанием оружия и умелой под-

готовкой его к стрельбе добиться значительного уменьшения рассеивания последующих пуль и совмещения средних точек попадания первых и последующих пуль очереди. Это говорит о том, что для достижения высоких показателей стрельбы выучка пулеметчиков имеет решающее значение.

Рассеивание пуль при стрельбе из автомата

Стрельба из автомата ведется либо с упора, либо с руки. Вполне естественно, что рассеивание пуль из автомата значительно больше, чем при стрельбе из ручного пулемета.

Характерной особенностью стрельбы из автомата является резкий отрыв положения последующих пуль от места попадания первых. При стрельбе на небольшие расстояния по щитам можно наглядно наблюдать наличие двух групп (эллипсов) попаданий (рис. 144). Это явление объясняется тем, что при достаточно мощном патроне и малом весе автомата получается большая отдача оружия, что резко сказывается на положении последующих пробоин при стрельбе очередями. При этом отклонения последующих пуль различны при стрельбе из различных положений. При стрельбе лежа с упора последующие пули отклоняются в основном влево и вниз. Эти отклонения, как правило, постоянны для каждого автоматчика, и величина их зависит от особенностей изготовки и прикладки. При стрельбе лежа с руки рассеивание пуль значительно больше, чем при стрельбе с упора; последующие пули отклоняются, как правило, влево и вверх. При стрельбе с колена и стоя наблюдается резкое отклонение последующих пуль вправо и вверх; величина рассеивания их мало зависит от различных приемов изготовки.

Рис. 144. Случай получения двух площадей группирования при стрельбе из автомата Калашникова лежа с упора на дальность 100 *м*

ГЛАВА XI

ВЕРОЯТНОСТЬ ПОПАДАНИЯ ПРИ ЗАДАННОМ ПОЛОЖЕНИИ СРЕДНЕЙ ТРАЕКТОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕЛИ

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЯ. ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Зная величины характеристик рассеивания при стрельбе из того или иного вида оружия на данное расстояние, можно подсчитать вероятность попадания при одном выстреле в любую цель и для любого положения средней траектории относительно этой цели.

Положим, что по цели, имеющей форму прямоугольника, произведено большое число выстрелов из какого-либо оружия в определенных и возможно одинаковых условиях. Получен эллипс рассеивания, положение которого относительно цели показано на рис. 145, где на каждые 100 выстрелов приходится 75 попаданий и 25 промахов.

Теперь поставим вопрос так: какова вероятность попасть в эту цель, если произвести один выстрел из того же оружия и при тех же условиях, при которых был получен эллипс рассеивания?

Очевидно, что при одном выстреле пуля может оказаться в любой точке эллипса рассеивания. Следовательно, как видно из рисунка, может быть одно из двух противоположных событий — или попадание, или промах. По соотношению попаданий и промахов при большом числе выстрелов можно судить о том, что вероятность попадания больше вероятности промаха во столько раз, во сколько 75 больше 25. Так как по условию нашего примера на каждые 100 выстрелов приходится 75 попаданий, или на каждые 4 выстрела — 3 попадания, то вероятность попадания при одном выстреле можно выразить

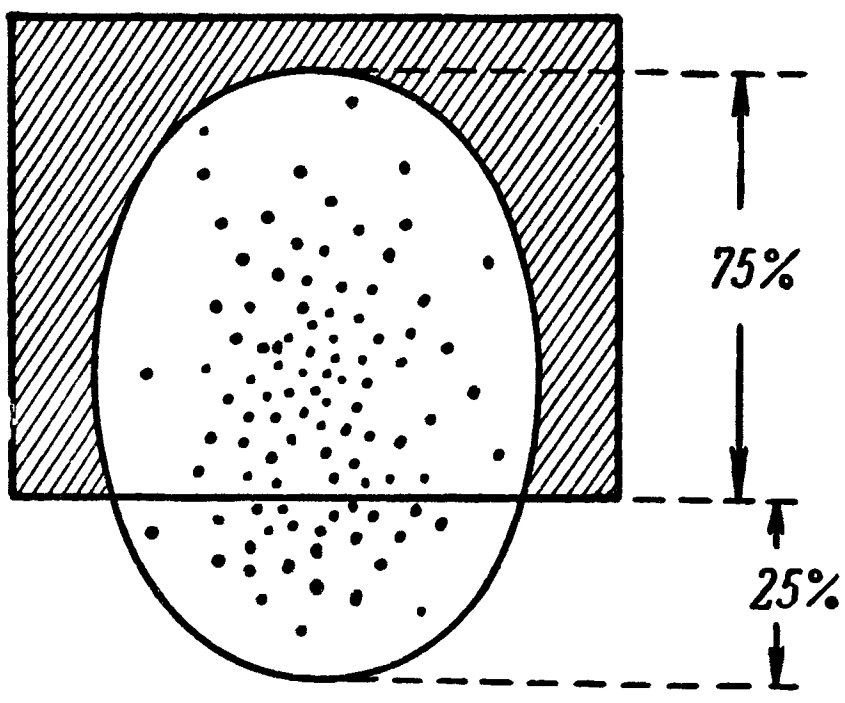


Рис. 145. Положение эллипса рассеивания относительно цели

дробью 0,75, или $^3/_4$. Вероятность попадания численно может выражаться не только дробью, но и в процентах. В нашем примере она будет равна 75%.

Можно дать следующее определение вероятности попадания: **вероятностью попадания** называется число, характеризующее степень возможности попадания в цель при данных условиях стрельбы.

Если при большом числе выстрелов на каждые 100 выстрелов приходится 75 попаданий, или на каждые 4 выстрела — 3 попадания, то это вовсе не означает, что при производстве только 4 выстрелов будет непременно 3 попадания, так как только при достаточно большом числе опытов частота события весьма мало отличается от вероятности события. Положим, что стрельба ведется

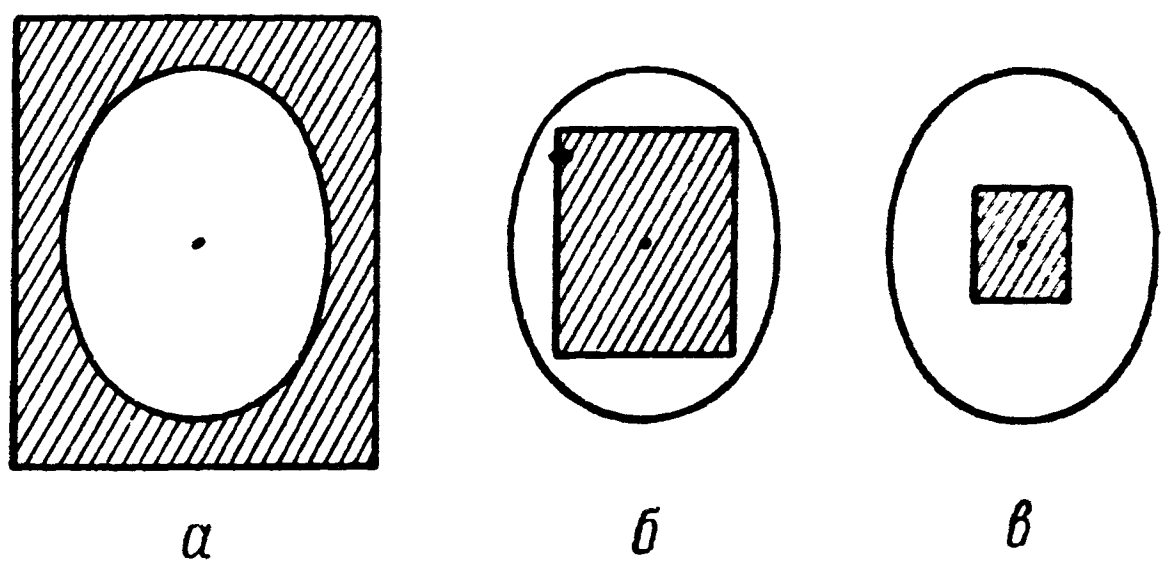


Рис. 146. Зависимость вероятности попадания от размеров цели

сериями по 4 выстрела и после каждой серии производится подсчет попаданий в цель. Результаты стрельбы при этом будут неодинаковы; будут случаи, когда число попаданий из 4 выстрелов окажется больше или меньше 3. При общем же подсчете большого числа выстрелов и попаданий окажется, что на каждые 4 выстрела приходится в среднем 3 попадания.

При выстреле все расчеты строятся, как правило, так, чтобы попадание было в центре цели. Предположим, что установки прицельных приспособлений и точка прицеливания полностью соответствуют этому условию и при большом числе выстрелов средняя траектория совмещается с центром цели. Но так как выстрел производится только один, а рассеивание неизбежно, то при самом тщательном прицеливании пуля будет иметь какое-то отклонение относительно средней траектории, а следовательно. и от центра цели в пределах $4B$ (4 срединных отклонений по данному направлению). Попадание в цель при этом возможно, и вероятность его будет зависеть от соотношения площади цели и площади рассеивания.

На рис. 146 изображены три неодинаковые по размерам цели, центры которых совпадают с центрами одинаковых эллипсов рассеивания. Площадь цели, показанная на рис. 146, *а*, вмещает в себя весь эллипс рассеивания. Значит, попадание достоверно, т. е. вероятность попадания равна 1 (единице), или 100%. Площадь цели, по-

казанная на рис. 146, *б*, меньше эллипса рассеивания; вероятность попадания в цель меньше 1 (единицы), или меньше 100%. Площадь цели, показанная на рис. 146, *в*, значительно меньше эллипса рассеивания; вероятность попадания в цель еще меньше, чем во втором случае.

Таким образом, при прочих равных условиях (одинаковом рассеивании, одинаковом положении центра рассеивания относительно цели) вероятность попадания тем больше, чем больше размеры цели.

На рис. 147 изображены три неодинаковых эллипса рассеивания, центры которых совпадают с центрами одинаковых по размеру целей.

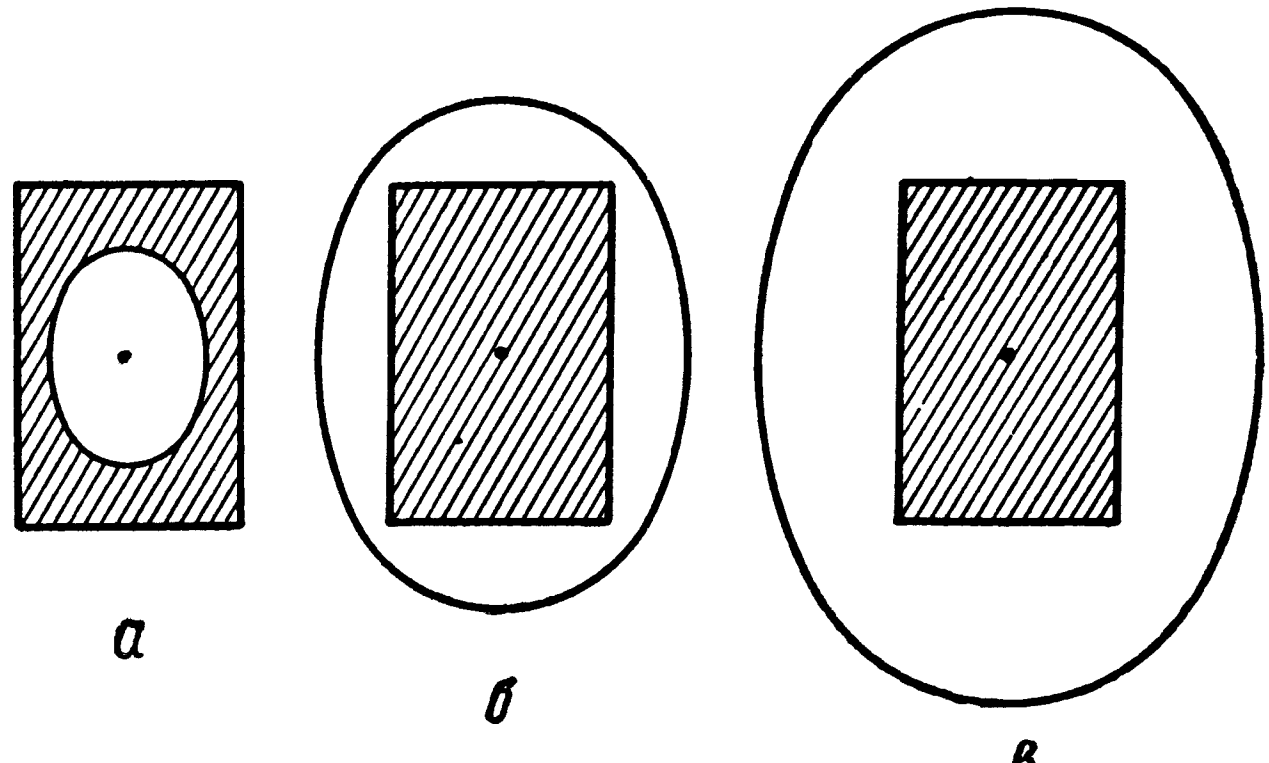


Рис. 147. Зависимость вероятности попадания от величины рассеивания

При малом рассеивании (рис. 147, *а*) весь эллипс умещается на площади цели — попадание достоверно, т. е. вероятность попадания в цель равна 1 (единице), или 100%. Если эллипс рассеивания окажется больше цели (рис. 147, *б*), то вероятность попадания в цель меньше 1 (единицы), или меньше 100%. Если эллипс рассеивания значительно больше цели (рис. 147, *в*), то вероятность попадания в цель еще меньше, чем во втором случае.

Следовательно, при прочих равных условиях (одинаковых размерах цели, одинаковом положении центра рассеивания относительно цели) вероятность попадания тем больше, чем меньше рассеивание.

На рис. 148 изображены три одинаковые цели, имеющие большое протяжение по фронту и малое в глубину. Цели накрываются одинаковыми эллипсами рассеивания при стрельбе с разных направлений, причем центры эллипсов рассеивания во всех трех случаях совмещены с центрами целей. При направлении стрельбы, показанном на рис. 148, *а* (фронтальный огонь), вероятность попадания в цель будет наименьшая по сравнению со случаями стрельбы, изображенными на рис. 148, *б, в*. При фланговом огне

(рис. 148, *в*) вероятность попадания в цель будет наибольшая, так как в этом случае вся цель накрывается эллипсом рассеивания и находится в пределах той его части, где точки падения пуль (снарядов, мин) расположены наиболее кучно.

Следовательно, если цель имеет большое протяжение по фронту и малое в глубину, то наибольшая вероятность попадания будет при фланговом или косоприцельном огне. Фронтальный огонь выгоднее вести по глубоким целям.

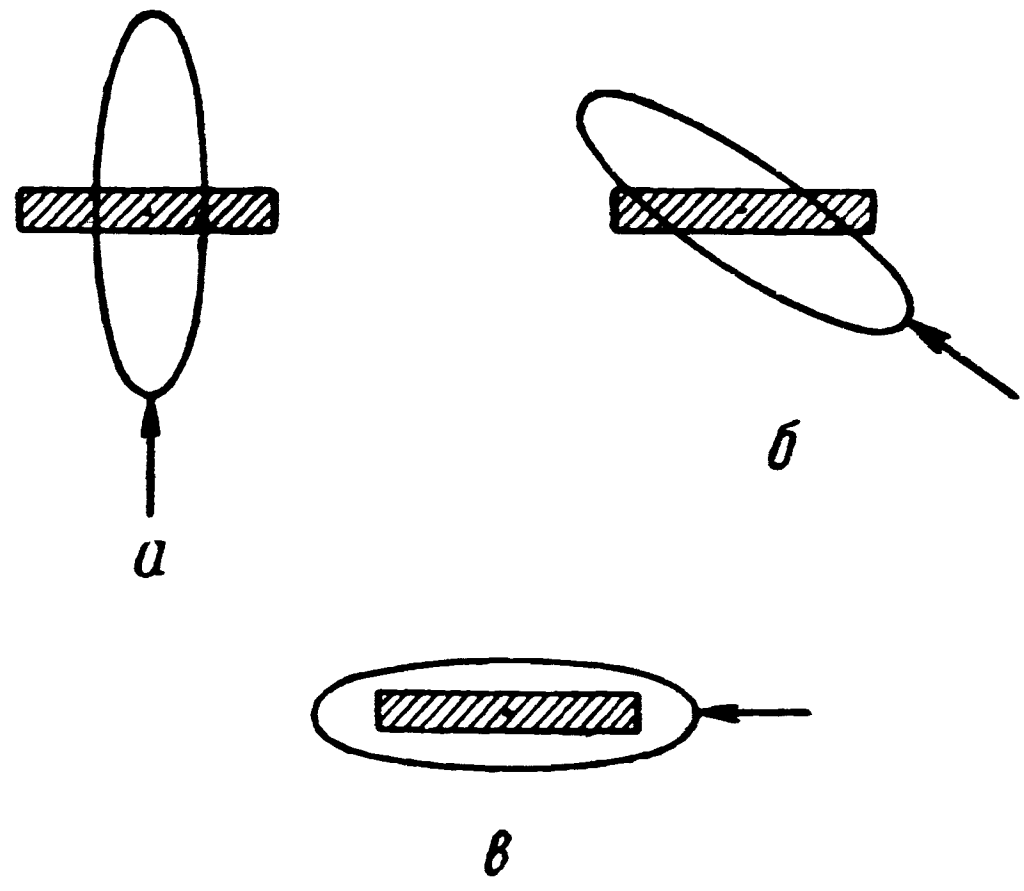


Рис. 148. Зависимость вероятности попадания от направления стрельбы

Мы рассмотрели случаи, когда средняя траектория совмещена с центром цели. Подобные случаи (см. рис. 146, 147) могут быть лишь при выполнении упражнений спортивных и учебных стрельб (по неподвижным целям). На боевых же стрельбах, а тем более в бою, по причине неизбежных ошибок определения расстояния до цели (установки прицела), учета метеорологических условий, наводки и др., средняя траектория всегда будет иметь какое-то отклонение относительно центра цели. Ошибки эти могут быть настолько велики, что цель окажется вне площади рассеивания. В таких случаях цель не может быть поражена, иначе говоря, вероятность попадания равна нулю.

Попадание в цель возможно лишь тогда, когда вся она или часть ее окажется в пределах площади рассеивания. Известно, что распределение траекторий в пределах этой площади неравномерно; поэтому вероятность попадания в каждую из целей на рис. 149 неодинакова: вероятность попадания в цель № 1 больше, чем в цель № 2, вероятность попадания в цель № 2 больше, чем в цель № 3.

Следовательно, при прочих равных условиях (одинаковом рассеивании, одинаковых размерах цели) вероятность попадания тем больше, чем ближе расположен центр рассеивания к центру цели. Для того чтобы в значительной степени увеличить вероятность попадания, необходимо как можно точнее готовить исходные данные для стрельбы. Это достигается систематической тренировкой в определении расстояний до целей и в учете поправок на метеорологические условия.

Таким образом, вероятность попадания зависит: от размеров цели, от размеров площади рассеивания, от направления стрельбы и от положения центра рассеивания относительно центра цели.

В дальнейшем мы будем рассматривать различные способы определения вероятности попадания в цель при одном выстреле.

Общий принцип для всех способов один и тот же и заключается в следующем. Чтобы найти вероятность попадания, нужно определить ту часть площади рассеивания, которой накрывается цель, и на основании закона рассеивания подсчитать процент попаданий,

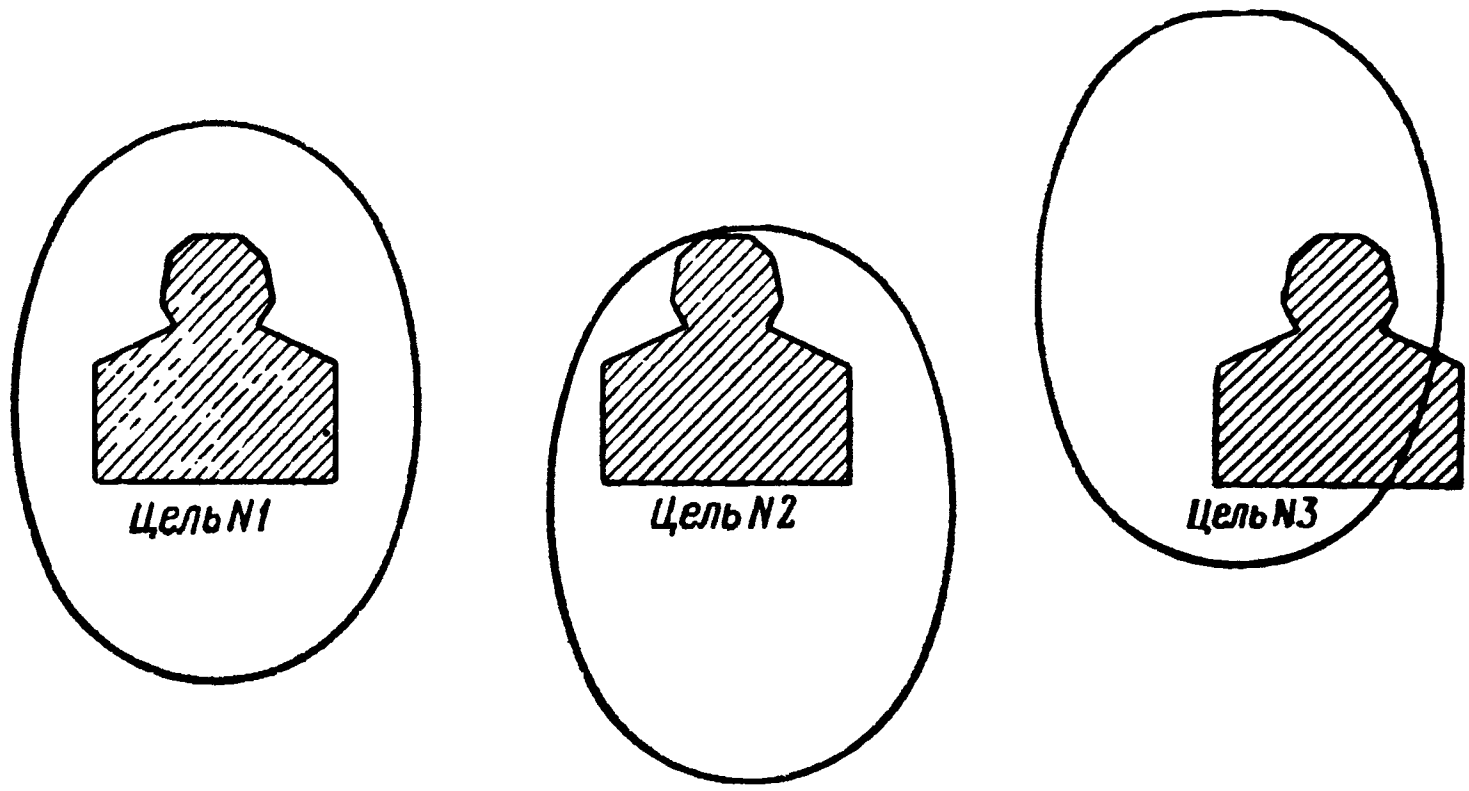


Рис. 149. Зависимость вероятности попадания от положения центра эллипса рассеивания относительно цели

приходящихся на эту площадь. Размеры величин характеристик рассеивания в каждом случае берутся из таблиц стрельбы, составленных на основании большого числа опытных стрельб.

2. ПРИБЛИЖЕННЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЯ

Определение вероятности попадания по сердцевине рассеивания

Данный способ применим только в тех случаях, когда площадь цели меньше сердцевины рассеивания или равна ей и не выходит за ее пределы ни в одном направлении. При подсчете допускается, что в пределах сердцевины рассеивание пуль равномерное. Тогда вероятность попадания можно определить путем сопоставления площадей цели и сердцевины рассеивания. Так как сердцевина рассеивания вмещает в себя 0,5 (50%) всех траекторий, то вероятность попадания в цель будет меньше 50% во столько раз, во сколько раз площадь цели меньше площади сердцевины рассеивания, т. е.

$$p : 50\% = s : (Св \cdot Сб),$$

где p — вероятность попадания в цель;
s — площадь цели;
$Св \cdot Сб$ — площадь сердцевины рассеивания.

На основании полученной пропорции находим:

$$p = \frac{50\% \cdot s}{Св \cdot Сб}. \qquad (75)$$

Пример. Определить вероятность попадания в грудную фигуру при стрельбе из ручного пулемета на 500 *м* при условии, что очертания фигуры не выходят за пределы сердцевины рассеивания.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим: $Св = 0{,}81$ *м*, $Сб = 0{,}78$ *м*, по табл. 1 (см. приложение) площадь грудной фигуры $s = 0{,}18$ *м*^{2}.

$$p = \frac{50\% \cdot 0{,}18}{0{,}81 \cdot 0{,}78} \approx 14{,}2\%, \text{ или } 0{,}142.$$

Определение вероятности попадания по шкале рассеивания

В тех случаях, когда цель или часть ее выходит за пределы рассеивания, вероятность попадания может быть определена по шкале рассеивания.

Положим, что эллипс рассеивания занимает такое положение относительно цели, как показано на рис. 150.

Подсчитаем вероятность попадания в эту цель, пользуясь шкалой рассеивания. Последовательность работы при этом должна быть следующая.

1. Определить вероятность попадания в бесконечно длинную полосу $2y$, высота которой равна высоте цели [1].

2. Определить вероятность попадания в бесконечно длинную полосу $2z$, ширина которой равна ширине цели.

3. Определить вероятность попадания в прямоугольник, образуемый пересечением полос $2y$ и $2z$. Нетрудно видеть, что в этот прямоугольник попадут только те пули, которые одновременно войдут в полосы $2y$ и $2z$. Поэтому вероятность попадания в прямоугольник равна произведению вероятностей попадания в полосы $2y$ и $2z$. Если вероятность попадания в полосу $2y$ равна p_{2y}, а в полосу $2z$ равна p_{2z}, то вероятность попадания в прямоугольник можно выразить так:

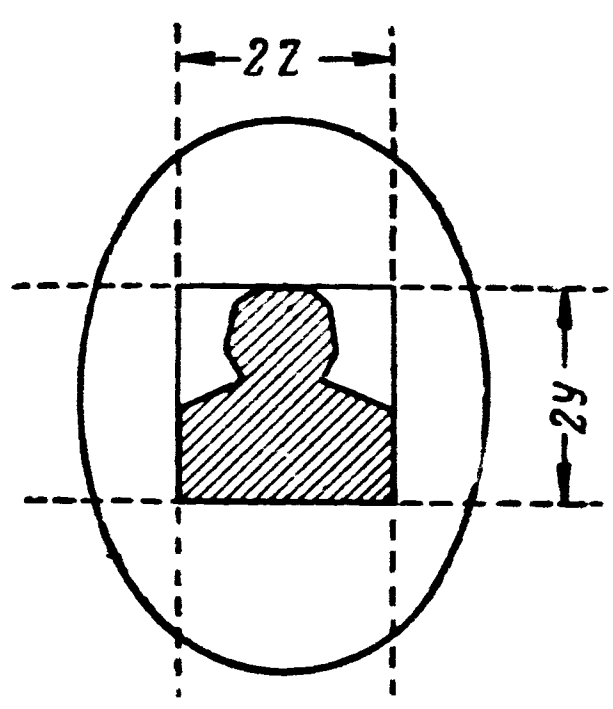


Рис. 150. Определение вероятности попадания в одиночную цель

$$p = p_{2y} \cdot p_{2z}. \qquad (76)$$

4. Определить вероятность попадания в цель. Допускаем, что рассеивание пуль в пределах прямоугольника происходит равномерно; тогда вероятность попадания в цель p будет меньше вероятности попадания в прямоугольник $p_{2y} \cdot p_{2z}$ во столько раз, во сколько раз площадь цели s меньше площади прямоугольника S, т. е.

$$\frac{p}{p_{2y} \cdot p_{2z}} = \frac{s}{S}.$$

---

[1] Бесконечно длинными полосами условно называют полосы, длина которых превосходит 8 срединных отклонений и концы которых находятся вне пределов эллипса рассеивания.

Из составленной пропорции получаем:

$$p = p_{2y} \cdot p_{2z} \cdot \frac{s}{S}.$$

Отношение площади цели к площади описанного вокруг цели прямоугольника $\frac{s}{S}$ принято называть **коэффициентом фигурности** цели и обозначать буквой K. Пользуясь этим обозначением, формулу определения вероятности попадания в цель в общем виде можно написать так:

$$p = p_{2y} \cdot p_{2z} \cdot K, \qquad (77)$$

где p — вероятность попадания в цель;

p_{2y} — вероятность попадания в бесконечно длинную полосу по высоте цели;

p_{2z} — вероятность попадания в бесконечно длинную полосу по ширине цели;

K — коэффициент фигурности цели.

Рассмотрим на примерах порядок определения вероятности попадания в цель.

Пример 1. Стрельба ведется из станкового пулемета тяжелой пулей по головной фигуре на дальность 300 *м*.

Определить вероятность попадания в цель, если известно, что средняя траектория совмещается с центром цели.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим, что на дальности 300 *м* $Bв = 0{,}12$ *м*, $Bб = 0{,}12$ *м*. По табл. 1 (см. приложение) находим: высота головной фигуры равна 0,3 *м*, ширина 0,5 *м*, коэффициент фигурности 0,73.

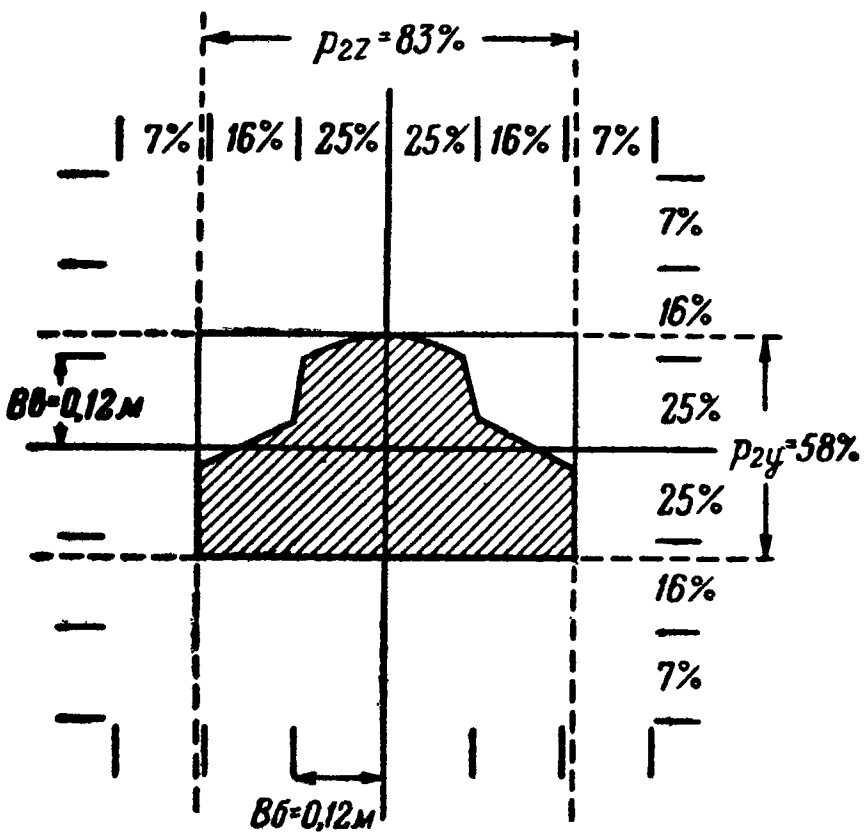


Рис. 151. Определение вероятности попадания в головную фигуру. Средняя траектория проходит через центр цели

В произвольном масштабе начертим шкалы рассеивания по высоте и боковому направлению (рис. 151). В том же масштабе обозначим на чертеже бесконечно длинные полосы по размерам цели (по высоте и по ширине). Пользуясь шкалами рассеивания, определим вероятность попадания в эти полосы.

Горизонтальная ось рассеивания делит полосу $2y$ на две равные полосы высотой по 0,15 *м* (0,30 : 2). Каждая из них включает в себя 1,25 $Bв$ (0,15 : 0,12), т. е. одну полосу, содержащую 25% попаданий, и 0,25 полосы, содержащей 16% попаданий. Допускаем, что рассеивание в каждой полосе, равной одному срединному отклонению, равномерно.

Тогда вероятность попадания в полосу $2y$

$$p_{2y} = (25\% + 0{,}25 \cdot 16\%) \cdot 2 = 58\%.$$

Вертикальная ось рассеивания делит полосу $2z$ на две равные полосы шириной по 0,25 *м* (0,50 : 2). Каждая из них включает в себя 2,1 *Вб* (0,25 : 0,12). Вероятность попадания в полосу $2z$

$$p_{2z} = (25\% + 16\% + 0{,}1 \cdot 7\%) \cdot 2 \approx 83\%.$$

Вероятность попадания в головную фигуру

$$p = p_{2y} \cdot p_{2z} \cdot K = 0{,}58 \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}73 \approx \approx 0{,}351, \text{ или } 35{,}1\%.$$

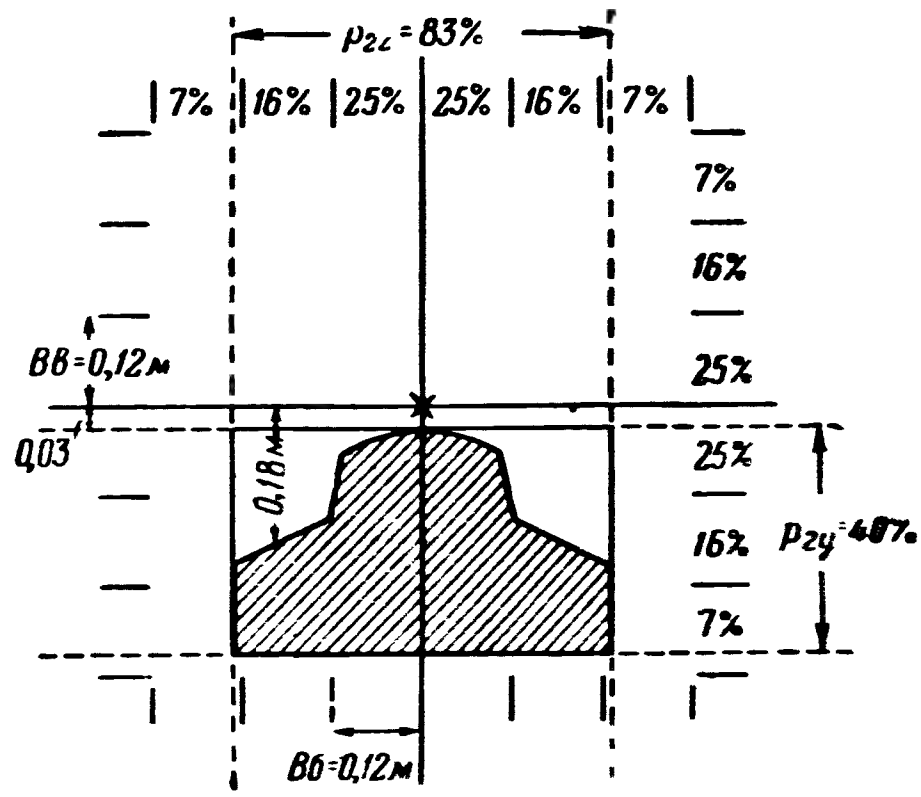


Рис. 152. Определение вероятности попадания в головную фигуру. Средняя траектория проходит выше центра цели

Пример 2. Условия стрельбы те же, что в примере 1, но средняя траектория проходит выше центра цели на 0,18 *м* (рис. 152).

Решение. По шкале рассеивания определяем вероятность попадания в полосу $2y$.

Если горизонтальная ось рассеивания проходит выше центра цели на 0,18 *м*, то верхний край цели окажется ниже центра рассеивания на $0{,}03\ м \left(18 - \frac{30}{2}\right)$. Из рисунка видно, что при таком положении средней траектории относительно цели в полосе $2y$ могут оказаться следующие попадания:

— 9/12, или 0,75, попаданий полосы, содержащей 25%;
— все попадания полосы, содержащей 16%;
— 9/12, или 0,75, попаданий полосы, содержащей 7%.

Следовательно, вероятность попадания в полосу $2y$:

$$p_{2y} = (0{,}75 \cdot 25\%) + 16\% + (0{,}75 \cdot 7\%) = 40\%.$$

Вероятность попадания в полосу $2z$:

$$p_{2z} = 83\% \text{ (как в примере 1).}$$

Вероятность попадания в головную фигуру:

$$p = p_{2y} \cdot p_{2z} \cdot K = 0{,}40 \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}73 = 0{,}242, \text{ или } 24{,}2\%.$$

Вероятность попадания в фигурную цель может быть найдена также по приведенным размерам цели без учета коэффициента фигурности. Приведенные размеры целей даны в табл. 1 приложения.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЯ ПО ТАБЛИЦЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Определяя вероятность попадания по шкале рассеивания, мы допускаем некоторую неточность, считая, что рассеивание в пределах каждой полосы, равной одному срединному отклонению, равномерно.

Для точных расчетов применяется более совершенный способ определения вероятности попадания — по таблице вероятностей получения ошибки в заданных пределах, т. е. по таблице значений Ф (β) (см. приложение, табл. 2). Этот способ не только точнее, но и проще предыдущего, так как при пользовании им значительно сокращаются вычисления.

Определение вероятности попадания в полосы

Таблица значений $\Phi(\beta)$ применима для определения вероятности попадания в полосы при симметричном и несимметричном их расположении относительно осей рассеивания.

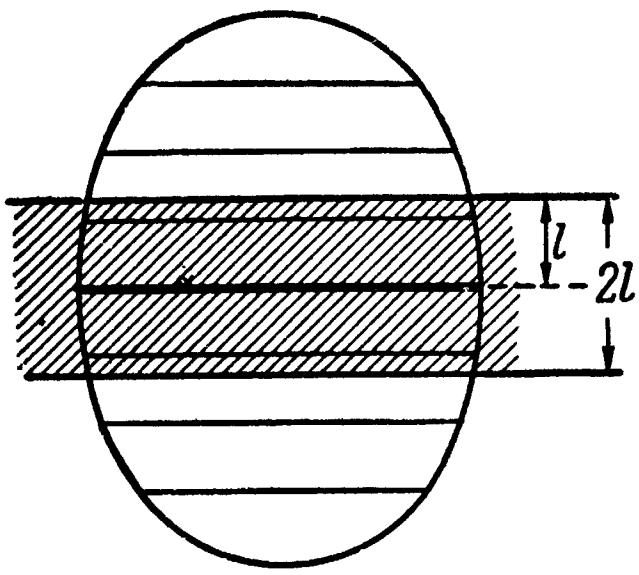


Рис. 153. Определение вероятности попадания в полосу, когда ось рассеивания делит ее на две равные полосы

Рассмотрим сначала случай симметричного расположения полосы, т. е. случай, когда ось рассеивания проходит по середине полосы цели (рис. 153).

Чтобы определить вероятность попадания в полосу при симметричном ее расположении относительно оси рассеивания, нужно половину ширины полосы разделить на величину срединного отклонения соответствующего направления и затем по таблице вероятностей найти вероятность попадания во всю полосу.

Ширину полосы принимаем равной $2l$, тогда половина полосы, выраженная в срединных отклонениях, будет равна $\frac{l}{B}$. В первой графе таблицы дается значение $\frac{l}{B}$, во второй графе — вероятность попадания в полосу $2l$. Следовательно, данные второй графы являются функцией $\frac{l}{B}$, или $\Phi\left(\frac{l}{B}\right)$. Тогда вероятность попадания в полосу, при условии совмещения оси рассеивания с серединой полосы, определяется следующим выражением:

$$p_{2l} = \Phi\left(\frac{l}{B}\right). \qquad (78)$$

Ширину полосы $2l$ обозначаем выражением $2y$, когда она совпадает с направлением *Вв*, или выражением $2z$, когда она совпадает с направлением *Вб*, или выражением $2x$, когда она совпадает с направлением *Вд*. Тогда формула (78), в зависимости от направления ширины полосы, будет иметь следующий вид:

$$p_{2y} = \Phi\left(\frac{y}{Bв}\right), \qquad (78а)$$

или

$$p_{2z} = \Phi\left(\frac{z}{Bб}\right), \qquad (78б)$$

или

$$p_{2x} = \Phi\left(\frac{x}{Bд}\right). \qquad (78в)$$

Пример 1. Стрельба ведется из автомата одиночными выстрелами на дальность 500 *м*. Определить вероятность попадания в полосу высотой 1,00 *м*, если ось рассеивания по высоте проходит по середине полосы.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим, что на дальности 500 *м* $Bв = 0{,}19$ *м*.

$2y$ (высота полосы) $= 1{,}00$ *м*, $y = 1{,}00 : 2 = 0{,}50$ *м*.

$$p_{2y} = \Phi\left(\frac{y}{Bз}\right) = \Phi\left(\frac{0{,}50}{0{,}19}\right) \approx \Phi\,(2{,}63).$$

По таблице вероятностей находим:

$$\Phi\,(2{,}63) = p_{2y} = 0{,}924, \text{ или } 92{,}4\%.$$

Пример 2. Стрельба ведется из автомата очередями на дальность 500 *м*. Определить вероятность попадания в полосу шириной 0,90 *м*, если ось рассеивания по боковому направлению проходит по середине полосы.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим, что на дальности 500 *м* $Bб = 0{,}30$ *м*.

$2z$ (ширина полосы) $= 0{,}90$ *м*, $z = 0{,}90 : 2 = 0{,}45$ *м*.

$$p_{2z} = \Phi\left(\frac{z}{Bб}\right) = \Phi\left(\frac{0{,}45}{0{,}30}\right) = \Phi\,(1{,}50).$$

По таблице вероятностей находим:

$$\Phi\,(1{,}50) = p_{2z} = 0{,}688, \text{ или } 68{,}8\%.$$

Пример 3. Стрельба ведется из 82-*мм* миномета на первом заряде с прицелом 6-98 ($Д = 1200$ *м*) по длинному оврагу шириной 12 *м*. Направление стрельбы — перпендикулярно длине оврага, ось рассеивания проходит по середине оврага.

Определить вероятность попадания в овраг.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим, что на дальности 1200 *м* $Bд = 17$ *м*.

$2x$ (ширина оврага) $= 12$ *м*; $x = 12 : 2 = 6$ *м*.

$$p_{2x} = \Phi\left(\frac{x}{Bд}\right) = \Phi\left(\frac{6}{17}\right) \approx \Phi\,(0{,}35).$$

По таблице вероятностей находим:

$$\Phi\,(0{,}35) = p_{2x} = 0{,}187, \text{ или } 18{,}7\%.$$

Теперь рассмотрим, как определяется вероятность попадания в полосы при несимметричном их расположении относительно осей рассеивания.

На рис. 154 ось рассеивания совмещается с краем полосы. Ширину этой полосы можно представить как половину полосы $2l$. Если вероятность попадания в полосу $2l$ определяется формулой (78), то, очевидно, вероятность попадания в полосу l будет равна

$$p_l = \frac{1}{2}\Phi\left(\frac{l}{B}\right). \qquad (79)$$

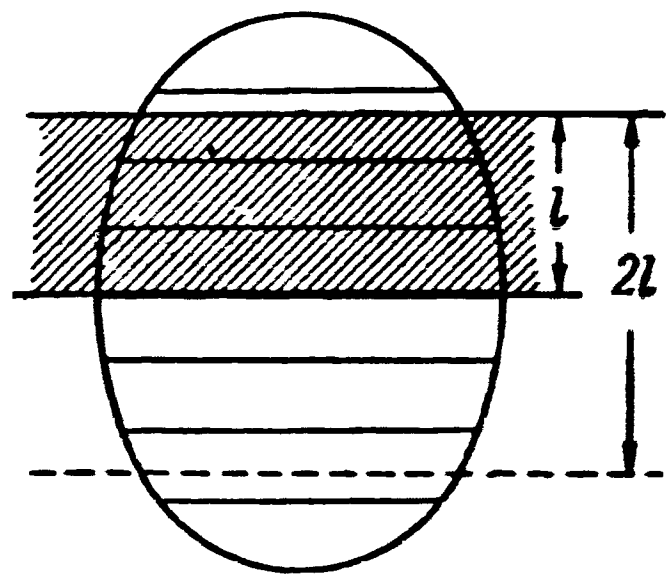


Рис. 154. Определение вероятности попадания в полосу, когда ось рассеивания совмещена с краем полосы

На рис. 155 и 156 приводятся два случая стрельбы при разных положениях оси рассеивания относительно середины полосы. В первом случае (рис. 155) ось рассеивания проходит

внутри полосы, но не совмещается с ее серединой; во втором случае (рис. 156) ось рассеивания проходит вне полосы. На рисунках даны обозначения следующих величин:

Δl — удаление оси рассеивания от середины полосы;

l_2 — удаление оси рассеивания от дальнего края полосы; в том и другом случае $l_2 = l + \Delta l$;

l_1 — удаление оси рассеивания от ближнего края полосы; в том и другом случае $l_1 = l - \Delta l$.

При рассмотрении рис. 155 и 156 можно сделать следующие выводы:

в первом случае (рис. 155) вероятность попадания в полосу $2l$ равна сумме вероятностей попадания в полосы l_2 и l_1;

во втором случае (рис. 156) вероятность попадания в полосу $2l$ равна разности вероятностей попадания в полосы l_2 и l_1.

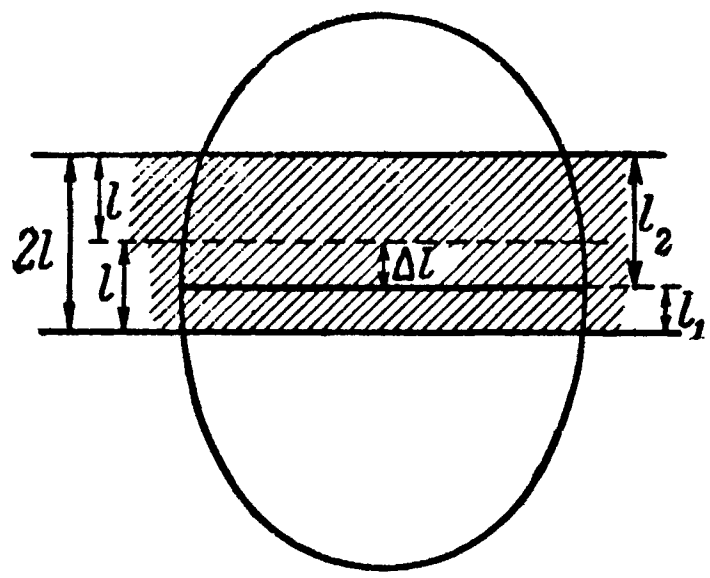


Рис. 155. Определение вероятности попадания в полосу, когда ось рассеивания проходит внутри полосы, но не совмещается с ее серединой

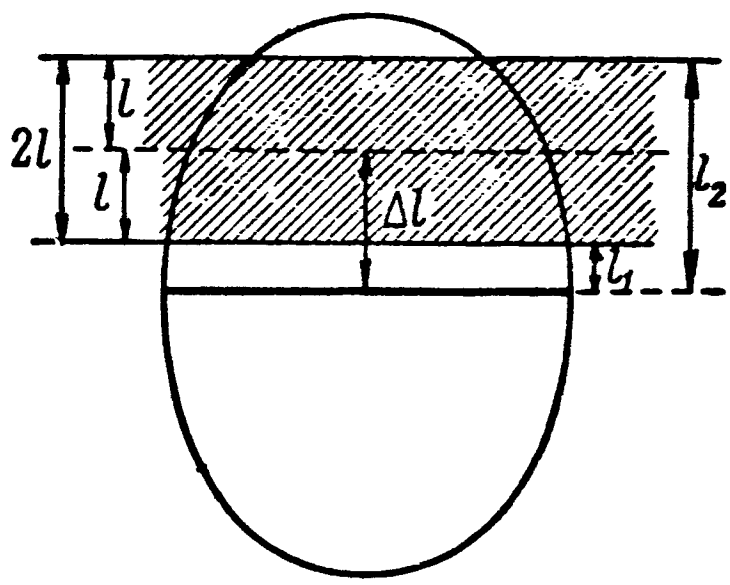


Рис. 156. Определение вероятности попадания в полосу, когда ось рассеивания проходит вне полосы

В том и другом случае вероятность попадания в полосу l_2 равна

$$p_{l_2} = \frac{1}{2}\Phi\left(\frac{l_2}{B}\right),$$

а вероятность попадания в полосу l_1 равна

$$p_{l_1} = \frac{1}{2}\Phi\left(\frac{l_1}{B}\right).$$

На основании всего сказанного можно заключить, что вероятность попадания в полосу $2l$ определяется следующим выражением:

$$p_{2l} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{l_2}{B}\right) \pm \Phi\left(\frac{l_1}{B}\right)\right]. \qquad (80)$$

Знак плюс (+) берется в тех случаях, когда ось рассеивания проходит внутри полосы, а знак минус (—) — когда ось рассеивания проходит вне полосы.

Величины Δl, l_2 и l_1 соответственно обозначаются: Δy, y_2 и y_1 — когда ширина полосы совпадает с направлением $Bв$; или Δz, z_2 и

z_1 — когда ширина полосы совпадает с направлением *Вб*; или Δx, x_2 и x_1 — когда ширина полосы совпадает с направлением *Вд*. Тогда формула (80) в зависимости от направления ширины полосы будет иметь следующий вид:

$$p_{2y} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{y_2}{Bв}\right) \pm \Phi\left(\frac{y_1}{Bв}\right)\right], \qquad (80а)$$

или

$$p_{2z} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{z_2}{Bб}\right) \pm \Phi\left(\frac{z_1}{Bб}\right)\right], \qquad (80б)$$

или

$$p_{2x} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{x_2}{Bд}\right) \pm \Phi\left(\frac{x_1}{Bд}\right)\right]. \qquad (80в)$$

Пример 1. Стрельба ведется из станкового пулемета легкой пулей на дальность 500 *м*. Определить вероятность попадания в полосу высотой 0,30 *м*, если ось рассеивания проходит выше середины полосы на 0,10 *м*.

Решение. По таблицам стрельбы находим, что на дальности 500 *м* $Bв = 0{,}21$ *м*.

$$2y = 0{,}30 \text{ м}; \; y = 0{,}15 \text{ м}; \; \Delta y = 0{,}10 \text{ м}.$$

$$y_2 = y + \Delta y = 0{,}15 + 0{,}10 = 0{,}25 \text{ м};$$

$$y_1 = y - \Delta y = 0{,}15 - 0{,}10 = 0{,}05 \text{ м}.$$

По условиям примера значение y (0,15 *м*) больше значения Δy (0,10 *м*); следовательно, ось рассеивания проходит внутри полосы. Тогда формула должна быть со знаком плюс (+).

$$p_{2y} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{y_2}{Bв}\right) + \Phi\left(\frac{y_1}{Bв}\right)\right] = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}21}\right) + \Phi\left(\frac{0{,}05}{0{,}21}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[\Phi(1{,}19) + \Phi(0{,}24)\right] = \frac{1}{2}\left[0{,}578 + 0{,}129\right] \approx 0{,}354, \text{ или } 35{,}4\%$$

Пример 2. Стрельба ведется из 82-*мм* миномета на первом заряде с прицелом 6-02 (1000 *м*) по длинному оврагу шириной 10 *м*. Направление стрельбы перпендикулярно длине оврага. Определить вероятность попадания в овраг, если средняя траектория проходит ближе середины оврага на 7 *м*.

Решение. По таблицам стрельбы находим, что на дальности 1000 *м* $Bд = 15$ *м*.

$$2x = 10 \text{ м}; \; x = 5 \text{ м}; \; \Delta x = 7 \text{ м};$$

$$x_2 = x + \Delta x = 5 + 7 = 12 \text{ м};$$

$$x_1 = x - \Delta x = 5 - 7 = -2 \text{ м}.$$

В данном случае значение x (5 *м*) меньше значения Δx (7 *м*); следовательно, ось рассеивания проходит вне полосы. Тогда формула должна быть со знаком минус (—).

$$p_{2x} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{x_2}{Bв}\right) - \Phi\left(\frac{x_1}{Bв}\right)\right] = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{12}{15}\right) - \Phi\left(\frac{2}{15}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[\Phi(0{,}80) - \Phi(0{,}13)\right] = \frac{1}{2}\left[0{,}411 - 0{,}070\right] = 0{,}1705, \text{ или } 17{,}05\%.$$

Определение вероятности попадания в прямоугольники и в одиночные цели различных очертаний

При рассмотрении способа определения вероятности попадания в одиночные цели по шкале рассеивания была выведена общая формула (77):

$$p = p_{2y} \cdot p_{2z} \cdot K.$$

Подставив в эту формулу значение p_{2y} из выражения (78а) и значение p_{2z} из выражения (78*б*), получим формулу для определения вероятности попадания в одиночную цель при совмещении средней траектории с центром цели:

$$p = \Phi\left(\frac{y}{Bз}\right) \cdot \Phi\left(\frac{z}{Bб}\right) \cdot K. \qquad (81)$$

Чтобы получить формулу для определения вероятности попадания в одиночную цель, когда средняя траектория не совмещается с центром цели, подставим в формулу (77) значения p_{2y} и p_{2z} из выражений (80*а*) и (80*б*). Перемножив коэффициенты, получим:

$$p = \frac{1}{4}\left[\Phi\left(\frac{y_2}{Bв}\right) \pm \Phi\left(\frac{y_1}{Bв}\right)\right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{z_2}{Bб}\right) \pm \Phi\left(\frac{z_1}{Bб}\right)\right] \cdot K. \qquad (82)$$

Аналогично этому можно получить формулы для определения вероятности попадания в горизонтальные цели, имеющие форму прямоугольника (при стрельбе из минометов).

При совмещении средней траектории с центром прямоугольника ($K = 1$):

$$p = \Phi\left(\frac{x}{Bд}\right) \cdot \Phi\left(\frac{z}{Bб}\right). \qquad (81а)$$

При несовмещении средней траектории с центром прямоугольника ($K = 1$):

$$p = \frac{1}{4}\left[\Phi\left(\frac{x_2}{Bд}\right) \pm \Phi\left(\frac{x_1}{Bд}\right)\right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{z_2}{Bб}\right) \pm \Phi\left(\frac{z_1}{Bб}\right)\right]. \qquad (82а)$$

Пример 1. Стрельба ведется из карабина по головной фигуре на дальность 300 *м*. Определить вероятность попадания при условии совмещения средней траектории с центром цели.

Решение. По таблицам стрельбы находим: $Bв = 0{,}09$ *м*; $Bб = 0{,}07$ *м*.
Высота цели $2y = 0{,}30$ *м*, тогда $y = 0{,}30 : 2 = 0{,}15$ *м*.
Ширина цели $2z = 0{,}50$ *м*, тогда $z = 0{,}50 : 2 = 0{,}25$ *м*.
Коэффициент фигурности цели $K = 0{,}73$.

$$p = \Phi\left(\frac{y}{Bз}\right) \cdot \Phi\left(\frac{z}{Bб}\right) \cdot K = \Phi\left(\frac{0{,}15}{0{,}09}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}07}\right) \cdot 0{,}73 =$$

$$= \Phi(1{,}67) \cdot \Phi(3{,}57) \cdot 0{,}73 = 0{,}740 \cdot 0{,}985 \cdot 0{,}73 = 0{,}532, \text{ или } 53{,}2\%.$$

Пример 2. Стрельба ведется из 82-*мм* миномета на первом заряде с прицелом 6-47 (1100 *м*) по цели, имеющей форму прямоугольника размером $2x = 10$ *м*, $2z = 6$ *м*. Определить вероятность попадания, если средняя траектория проходит ближе центра цели на 8 *м* и правее на 2 *м*.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим: $Вд = 16$ *м*, $Вб = 5{,}7$ *м*.

$$x = 10 : 2 = 5 \text{ м}; \ \Delta x = 8 \text{ м};$$

$$x_2 = x + \Delta x = 5 + 8 = 13 \text{ м};$$

$$x_1 = x - \Delta x = 5 - 8 = -3 \text{ м};$$

$$z = 6 : 2 = 3 \text{ м}; \ \Delta z = 2 \text{ м};$$

$$z_2 = z + \Delta z = 3 + 2 = 5 \text{ м};$$

$$z_1 = z - \Delta z = 3 - 2 = 1 \text{ м}.$$

$$p = \frac{1}{4}\left[\Phi\left(\frac{x_2}{Вд}\right) - \Phi\left(\frac{x_1}{Вд}\right)\right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{z_2}{Вб}\right) + \Phi\left(\frac{z_1}{Вб}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{4}\left[\Phi\left(\frac{13}{16}\right) - \Phi\left(\frac{3}{16}\right)\right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{5}{5{,}7}\right) + \Phi\left(\frac{1}{5{,}7}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{4}\left[\Phi\,(0{,}81) - \Phi\,(0{,}19)\right] \cdot \left[\Phi\,(0{,}88) + \Phi\,(0{,}17)\right] =$$

$$= \frac{1}{4}\left[0{,}415 - 0{,}102\right] \cdot \left[0{,}447 + 0{,}091\right] \approx 0{,}042. \text{ или } 4{,}2\%.$$

4. ВЕРОЯТНОСТЬ ПОПАДАНИЯ В ОДИНОЧНЫЕ ЦЕЛИ ПРИ СТРЕЛЬБЕ С ИСКУССТВЕННЫМ РАССЕИВАНИЕМ ПО ФРОНТУ

В бою нередки случаи, когда стрельбу по одиночным целям приходится вести с искусственным рассеиванием.

Рассмотрим порядок определения вероятности попадания при стрельбе с искусственным рассеиванием по фронту.

Рис. 157. Расположение цели в кустах в пределах *АБ*

Предположим, нам известно, что на фронте *АБ* в кустах замаскирована цель (рис. 157). Точно место расположения цели неизвестно, поэтому стрельба должна вестись с искусственным рассеиванием по фронту в пределах *АБ*.

При стрельбе с рассеиванием в пределах *АБ* какая-то незначительная часть всех выпущенных пуль окажется вне указанных пределов. Для упрощения расчетов будем считать, что в пределах искусственного рассеивания будут находиться все 100% пуль и рассеивание в этих пределах равномерно.

Пусть в данном случае рассеивание по высоте больше высоты цели. Тогда некоторая часть пуль окажется выше и ниже цели, а другая часть пуль окажется в пределах прямоугольника *абвг*, как показано на рис. 158.

Определим площадь этого прямоугольника и вероятность попадания в него.

Площадь прямоугольника равна произведению высоты цели на фронт искусственного рассеивания, т. е. $S = 2y \cdot Фр$.

Вероятность попадания в этот прямоугольник определяется как произведение вероятностей попадания в полосы, его образующие. Ширина полосы *аб* равна фронту искусственного рассеивания, вероятность попадания в эту полосу равна 1, или 100%; ширина полосы *аг* равна высоте цели, вероятность попадания в эту полосу равна p_{2y}. Значит, вероятность попадания в прямоугольник равна $1 \cdot p_{2y} = p_{2y}$.

Рис. 158. Район возможных положений цели в пределах площади искусственного рассеивания.

Вероятность попадания в цель p будет меньше вероятности попадания в прямоугольник p_{2y} во столько раз, во сколько площадь цели s меньше площади прямоугольника $2y \cdot Фр$, т. е.

$$p : p_{2y} = s : (2y \cdot Фр).$$

На основании этой пропорции получаем:

$$p = \frac{p_{2y} \cdot s}{2y \cdot Фр}, \qquad (83)$$

где p — вероятность попадания в цель;
p_{2y} — вероятность попадания в полосу, равную высоте цели;
s — площадь цели;
$2y$ — высота цели;
$Фр$ — фронт рассеивания.

Пример. Цель — грудная фигура (снайпер) в кустах на фронте 10 *м*. Расстояние до цели 400 *м*. Определить вероятность попадания в цель, если стрельба ведется из станкового пулемета легкой пулей с рассеиванием по фронту на ширину кустов; ось рассеивания проходит по середине цели.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим $Bв = 0{,}16$ *м*. При стрельбе с рассеиванием по фронту $Bв$ будет больше табличного в 1,5—2 раза, а в среднем в 1,75 раза.

Определяем вероятность попадания в полосу, равную высоте цели:

$$p_{2y} = \Phi\left(\frac{y}{Bв \cdot 1{,}75}\right) = \Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}16 \cdot 1{,}75}\right) = \Phi\,(0{,}89) = 0{,}452, \text{ или } 45{,}2\%.$$

Определяем вероятность попадания в цель:

$$p = \frac{p_{2y} \cdot s}{2y \cdot Фр} = \frac{0{,}452 \cdot 0{,}18}{0{,}5 \cdot 10} \approx 0{,}016, \text{ или } 1{,}6\%.$$

ГЛАВА XII

НАДЕЖНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ СТРЕЛЬБЫ

При решении огневых задач в бою стреляющий должен руководствоваться двумя основными требованиями, предъявляемыми ко всякой стрельбе из любого оружия: во-первых, чтобы стрельба была **надежной** и, во-вторых, чтобы стрельба была **экономичной.**

Под надежностью стрельбы понимается следующее: как часто будет решена огневая задача, если такую стрельбу (теми же способами, по такой же цели, на такую же дальность, с тем же расходом боеприпасов) повторить много раз.

Под экономичностью стрельбы понимается выполнение огневой задачи при возможно меньшем расходе боеприпасов.

На основе этих требований вырабатываются правила стрельбы из того или иного вида оружия и производятся расчеты расхода боеприпасов для выполнения огневых задач.

Наиболее правильное выполнение этих двух требований со стороны стреляющего возможно только при твердом знании им правил стрельбы и умении применять их на практике с учетом боевых возможностей данного оружия, характера цели, условий боевой обстановки и наличия боеприпасов.

1. ВЕРОЯТНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ЦЕЛЕЙ КАК МЕРА НАДЕЖНОСТИ СТРЕЛЬБЫ

При стрельбе из стрелкового оружия для поражения одиночной живой цели обычно бывает достаточно получить хотя бы одно попадание в цель. Так как одно попадание можно получить и при одном выстреле, то из этого следует, что вероятность попадания одновременно характеризует и вероятность поражения цели при одном выстреле. Так, например, если вероятность попадания $p = 0{,}3$, то и вероятность поражения цели при одном выстреле равна 0,3.

Если по одной и той же цели произвести несколько выстрелов, то можно получить или ноль, или одно, или несколько попаданий. Так как огневая задача будет выполнена при любом числе попаданий (хотя бы одном), то вероятность поражения цели оценивается вероятностью попадания хотя бы один раз при том или ином числе выстрелов.

Из главы VIII известно, что при повторении испытаний вероятность появления данного события хотя бы один раз P_1 равна

$$P_1 = 1 - (1 - p)^n$$

(см. формулу 54).

Применительно к стрельбе величины в этой формуле означают:

P_1 — вероятность попасть хотя бы один раз (вероятность поражения цели не менее чем одной пулей);

p — вероятность попадания при одном выстреле;

n — число выстрелов.

Пример. Определить вероятность поражения цели (вероятность хотя бы одного попадания) при 10 выстрелах, если вероятность попадания в цель при одном выстреле $p = 0{,}1$.

Решение.

$$P_1 = 1 - (1 - p)^n = 1 - (1 - 0{,}1)^{10} = 1 - 0{,}9^{10} = 1 - 0{,}348 =$$

$$= 0{,}652, \text{ или } 65\% \text{ (округленно).}$$

Полученное значение вероятности хотя бы одного попадания $P_1 = 65\%$ следует понимать так: если произвести большое число стрельб по 10 выстрелов на каждую стрельбу и при условии, что вероятность попадания $p = 0{,}1$, то в 65 случаях из каждых 100 таких стрельб цель будет поражена одной или несколькими пулями (в условиях нашего примера не более как 10 пулями), а в 35 случаях цель не будет поражена.

Итак, **надежность стрельбы, или вероятность поражения цели,** оценивается вероятностью хотя бы одного попадания.

Рассмотренная формула применима для определения вероятности поражения цели при стрельбе не только одиночными выстрелами, но и очередями (залпами), при условии, если вероятность попадания p от выстрела к выстрелу не изменяется.

Если, например, при стрельбе короткими очередями (одинаковыми или неодинаковыми — безразлично) общее число всех выстрелов $n = 16$, а вероятность попадания при всех выстрелах одинакова и составляет 0,2, то вероятность поражения цели равна:

$$P_1 = 1 - (1 - 0{,}2)^{16} = 1 - 0{,}8^{16} = 1 - 0{,}028 = 0{,}972, \text{ или } 97{,}2\%.$$

Но в главе X было отмечено, что при стрельбе очередями рассеивание последующих пуль может быть больше рассеивания первых пуль и, кроме того, средние точки попадания первых и последующих пуль могут не совпадать. В таких случаях вероятность попадания каждой последующей пули будет отличаться от вероятности попадания первой пули (в каждой очереди выстрелов).

Порядок определения вероятности поражения цели при этом рассмотрим на примерах.

Пример 1. Стрельба ведется из автомата по грудной фигуре на дальность 300 *м*. Определить вероятность поражения цели при стрельбе двумя очередями по 3 выстрела в каждой, если средние точки попадания первых и последующих пуль совмещаются с центром цели.

Решение. По таблицам стрельбы находим: при стрельбе одиночными выстрелами $Bв = 0{,}10$ *м*, $Bб = 0{,}10$ *м*; при стрельбе очередями $Bв = 0{,}17$ *м*, $Bб = 0{,}17$ *м*; высота цели $2y = 0{,}50$ *м*; ширина цели $2z = 0{,}50$ *м*; коэффициент фигурности $K = 0{,}72$.

1) Определяем вероятность поражения цели первыми (двумя) выстрелами:
а) Вероятность попадания

$$p = \Phi\left(\frac{y}{B_в}\right)\cdot\Phi\left(\frac{z}{B_б}\right)\cdot K = \Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}10}\right)\cdot\Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}10}\right)\cdot K =$$

$$= \Phi(2{,}5)\cdot\Phi(2{,}5)\cdot K = 0{,}908\cdot 0{,}908\cdot 0{,}72 \approx 0{,}60.$$

б) Вероятность поражения цели

$$P_{I(1)} = 1-(1-0{,}6)^2 = 1-0{,}4^2 = 0{,}84.$$

2) Определяем вероятность поражения цели последующими (четырьмя) выстрелами:

а) $p = \Phi\left(\frac{y}{B_з}\right)\cdot\Phi\left(\frac{z}{B_б}\right)\cdot K = \Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}17}\right)\cdot\Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}17}\right)\cdot K = \Phi(1{,}47)\cdot\Phi(1{,}47)\cdot K =$
$= 0{,}679\cdot 0{,}679\cdot 0{,}72 \approx 0{,}33.$

б) $P_{I\,(посл)} = 1-(1-0{,}33)^4 = 1-0{,}67^4 = 0{,}80.$

3) Определяем вероятность поражения цели с учетом и первых, и последующих выстрелов.

Вероятность непоражения цели только первыми выстрелами равна

$$1 - P_{I\,(1)} = 1-0{,}84 = 0{,}16,$$

только последующими выстрелами равна

$$1 - P_{I\,(посл)} = 1-0{,}80 = 0{,}20.$$

Вероятность того, что цель не будет поражена при всех (шести) выстрелах, равна

$$[1 - P_{I\,(1)}]\cdot[1 - P_{I\,(посл)}] = 0{,}16\cdot 0{,}20 = 0{,}032.$$

Вероятность поражения цели при стрельбе очередями P_I с учетом и первых, и последующих выстрелов

$$P_I = 1-0{,}032 = 0{,}968, \text{ или } 96{,}8\%.$$

В общем виде формулу для решения подобных задач можно записать так:

$$P_I = 1 - (1 - P_{I\,(1)})\cdot(1 - P_{I\,(посл)}). \qquad (84)$$

Пример 2. Все условия те же, что и в примере 1, за исключением того, что средняя точка попадания последующих пуль левее центра цели на 20 *см* и ниже его на 20 *см* (рис. 159).

Решение. 1) Вероятность поражения цели первыми (двумя) выстрелами $P_{I(1)} = 0{,}84$ (как в примере 1).

2) Определяем вероятность поражения цели последующими (четырьмя) выстрелами:

а) $p = \frac{1}{4}\left[\Phi\left(\frac{y_2}{B_з}\right) + \Phi\left(\frac{y_1}{B_з}\right)\right]\cdot\left[\Phi\left(\frac{z_2}{B_б}\right) + \Phi\left(\frac{z_1}{B_б}\right)\right]\cdot K = \frac{1}{4}\left[\Phi\left(\frac{0{,}45}{0{,}17}\right) +\right.$
$\left. + \Phi\left(\frac{0{,}05}{0{,}17}\right)\right]\cdot\left[\Phi\left(\frac{0{,}45}{0{,}17}\right) + \Phi\left(\frac{0{,}05}{0{,}17}\right)\right]\cdot K = \frac{1}{4}[\Phi(2{,}65) + \Phi(0{,}29)]\cdot[\Phi(2{,}65) +$
$+ \Phi(0{,}29)]\cdot K = \frac{1}{4}[0{,}926 + 0{,}155]\cdot[0{,}926\cdot 0{,}155]\cdot 0{,}72 \approx 0{,}21.$

б) $P_{I\,(посл)} = 1-(1-0{,}21)^4 = 1-0{,}79^4 \approx 0{,}61.$

3) Определяем вероятность поражения цели с учетом и первых, и последующих выстрелов:

$$P_I = 1-(1-0{,}84)\cdot(1-0{,}61) = 1-0{,}062 = 0{,}938, \text{ или } 93{,}8\%.$$

Если стрельба ведется несколькими одинаковыми очередями, порядок определения вероятности поражения целей может быть еще и такой:

1) Определить вероятность поражения цели при стрельбе одной очередью (указанным выше способом).

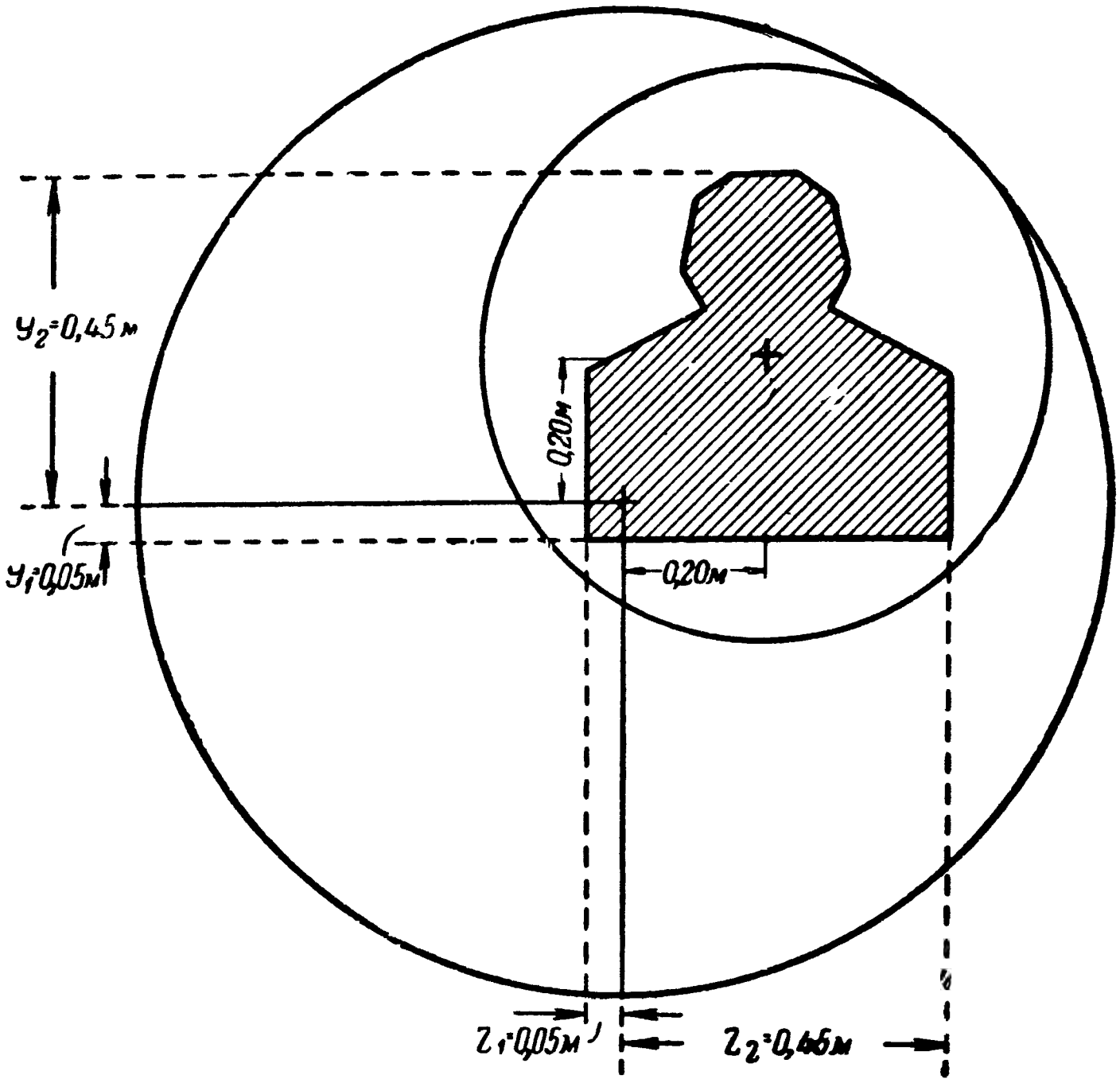


Рис. 159. Определение вероятности поражения цели, когда между средними точками попадания первых и последующих пуль имеется разрыв

2) Определить вероятность поражения цели при стрельбе заданным числом очередей по формуле:

$$P_{\text{I}} = 1 - \left(1 - P_{\text{I (оч)}}\right)^{s}, \qquad (85)$$

где $P_{\text{I(оч)}}$ — вероятность поражения цели при стрельбе одной очередью;

s — число таких очередей.

Пример. Задача та же, что в примере 1.

Решение.

1) Вероятность поражения цели первым выстрелом очереди найдена выше.

$$P_{\text{I (1)}} = p = 0{,}60.$$

2) Вероятность поражения цели последующими (двумя) выстрелами очереди:

$$P_{\text{I (посл)}} = 1 - (1 - p)^{n} = 1 - (1 - 0{,}33)^{2} = 1 - 0{,}67^{2} = 0{,}55.$$

3) Вероятность поражения цели при стрельбе одной очередью

$$P_{1\,(оч)} = 1 - (1-0{,}60)\,(1-0{,}55) = 1-0{,}18 = 0{,}82.$$

4) Вероятность поражения цели при стрельбе двумя очередями:

$$P_1 = 1 - (1 - P_{1\,(оч)})^s = 1 - (1-0{,}82)^2 = 1-0{,}18^2 = 1-0{,}032 = 0{,}968,$$

или 96,8%.

Как видим, результат получен точно такой же, как и при решении этой задачи первым способом (см. пример 1).

В практике важно знать не только надежность стрельбы при том или ином расходе боеприпасов, но и решать обратную задачу — каков должен быть расход боеприпасов для обеспечения той или иной степени надежности стрельбы.

Если вероятность попадания от выстрела к выстрелу не изменяется (при стрельбе или одиночными выстрелами, или очередями), то для определения необходимого числа выстрелов применяется формула (55):

$$n = \frac{\lg (1 - P_1)}{\lg (1 - p)},$$

где P_1 — заданная вероятность поражения цели;

p — вероятность попадания при одном выстреле.

Пример. Определить необходимое число выстрелов, чтобы надежность стрельбы (вероятность хотя бы одного попадания) была равна 0,9 (90%), если вероятность попадания при одном выстреле $p = 0{,}2$.

Решение. Подставляя в формулу (55) значения P_1 и p, получаем:

$$n = \frac{\lg (1-0{,}9)}{\lg (1-0{,}2)} = \frac{\lg 0{,}1}{\lg 0{,}8} = \frac{\bar{1},0000}{\bar{1},9039} = \frac{10000}{969} \approx 10 \text{ патронов.}$$

Если же при стрельбе одинаковыми очередями вероятность попадания каждой последующей пули отличается от вероятности попадания первой пули (в каждой очереди), то порядок определения расхода боеприпасов, обеспечивающего заданную надежность (вероятность) поражения цели, будет следующий.

1) Определить рассмотренным ранее способом вероятность поражения цели при стрельбе одной очередью.

2) Определить число очередей по формуле

$$s = \frac{\lg (1 - P_1)}{\lg (1 - P_{1(оч)})}, \qquad (86)$$

где P_1 — заданная вероятность поражения цели;

$P_{1(оч)}$ — вероятность поражения цели при стрельбе одной очередью.

3) Определить число выстрелов по формуле

$$n = s \cdot k, \qquad (87)$$

где s — число очередей;

k — число выстрелов в одной очереди (длина очереди).

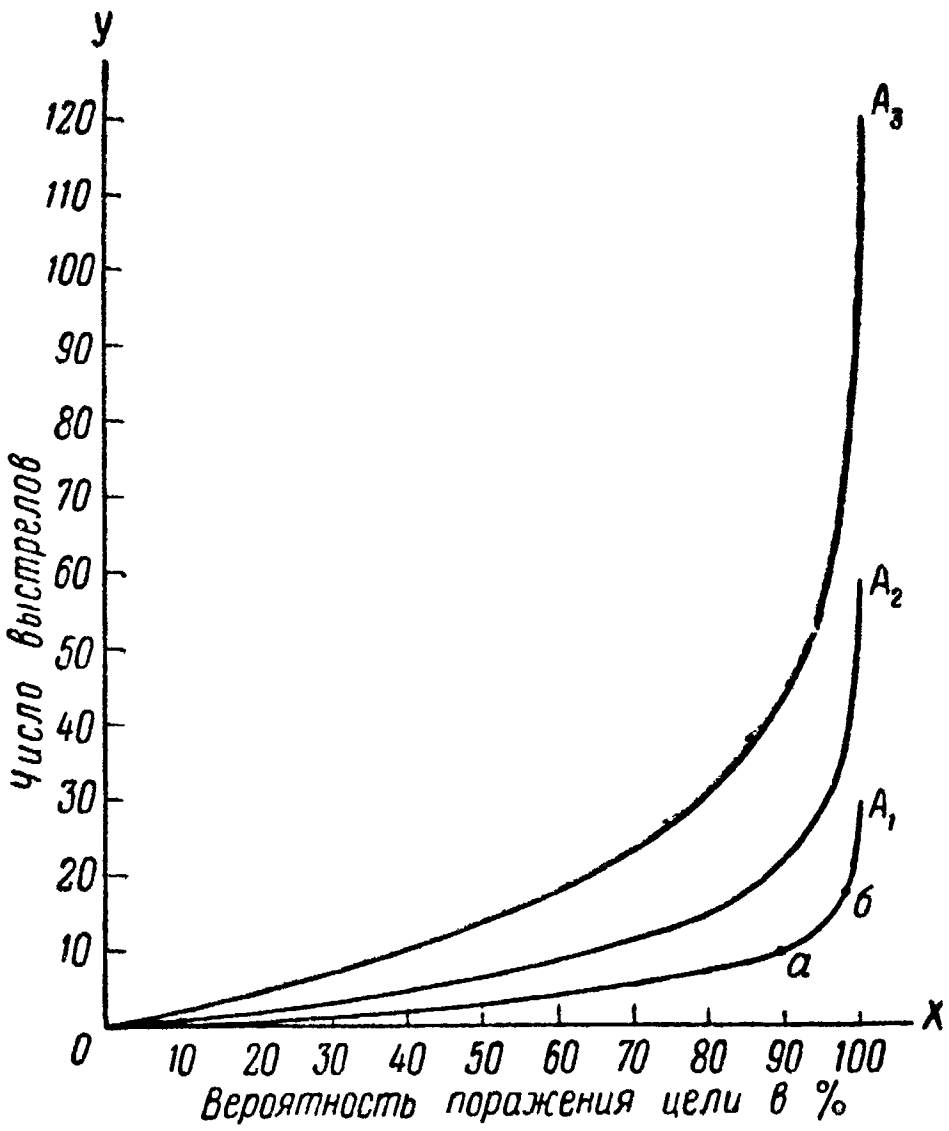


Рис. 160. Кривые, характеризующие расход патронов для разных заданных вероятностей поражения цели

Известно, что вероятность поражения цели увеличивается с увеличением числа выстрелов (расхода боеприпасов на стрельбу). Но при этом нужно иметь в виду необходимость соблюдать требование экономичности стрельбы. Какова же должна быть надежность стрельбы при соблюдении ее экономичности?

Чтобы решить этот вопрос, построим кривые расхода патронов в зависимости от заданной вероятности поражения цели при различных значениях вероятности попадания.

На рис. 160 по оси OX в условном масштабе отложим отрезки, соответствующие различным значениям вероятности поражения цели (в процентах), а по оси OY, тоже в условном масштабе, отрезки, соответствующие различным значениям количества патронов.

Построим сначала кривую расхода патронов при вероятности попадания $p = 0{,}2$.

В примере на стр. 231 мы нашли, что для получения вероятности поражения цели $P_1 = 90\%$ при $p = 0{,}2$ необходимо произвести 10 выстрелов. На заготовленном графике обозначим точку пересечения вертикальной линии, соответствующей 90%, с горизонтальной линией, соответствующей 10 выстрелам (на рис. 160 точка *а*). Теперь определим необходимое число выстрелов для $P_1 = 98\%$:

$$n = \frac{\lg (1 - 0{,}98)}{\lg (1-0{,}2)} = \frac{\lg 0{,}02}{\lg 0{,}8} = \frac{\bar{2},3010}{\bar{1},9031} = \frac{-1{,}6990}{-0{,}0969} \approx 18 \text{ патронов.}$$

Обозначим на графике точку пересечения вертикальной линии, соответствующей 98%, с горизонтальной линией, соответствующей 18 выстрелам (на рис. 160 точка *б*).

После того как будут проделаны подобные расчеты для различных значений P_1 и найдены соответствующие точки пересечения вертикальных и горизонтальных линий, получим ряд точек. Соединив все эти точки плавной кривой, получим кривую OA_1, которая наглядно показывает зависимость необходимого числа выстрелов от заданной вероятности поражения цели. На рис. 160 таким же способом построены кривая OA_2 при вероятности попадания $p = 0{,}1$ и кривая OA_3 при вероятности попадания $p = 0{,}05$.

На основании анализа полученных кривых можно сделать вывод о том, какой должна быть надежность стрельбы с учетом выполнения требования экономичного расхода боеприпасов. Очевидно, можно считать стрельбу достаточно надежной, если вероятность поражения цели близка к 90%. Задаваться вероятностями поражения цели, весьма близкими к 100%, нецелесообразно, так как при этом потребуется очень большое увеличение расхода боеприпасов. Так, например, кривые показывают следующее: чтобы увеличить вероятность поражения цели с 90% до 98%, необходимо увеличить количество патронов на стрельбу примерно в 2 раза.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ ЧИСЛА ПОПАДАНИЙ КАК МЕРА ЭКОНОМИЧНОСТИ СТРЕЛЬБЫ

Известно, что при одном испытании математическое ожидание числа появления события численно равно вероятности этого события (см. главу VIII).

Применительно к стрельбе это выражение запишем так:

$$a_1 = p,$$

где p — вероятность попадания;

a_1 — математическое ожидание числа попаданий при одном выстреле.

Так, например, если вероятность попадания $p = 0{,}4$, то и математическое ожидание числа попаданий при одном выстреле $a_1 = 0{,}4$ попадания.

Если вероятность попадания p, а следовательно, и a_1, от выстрела к выстрелу не изменяется, то математическое ожидание числа попаданий при n выстрелах определяется по формуле (58):

$$a_n = np = n \cdot a_1,$$

где n — число выстрелов;

a_n — математическое ожидание числа попаданий при n выстрелах.

Пример. Стрельба будет вестись из миномета по пристрелянной цели, занимающей некоторую площадь. Определить математическое ожидание числа попаданий в цель при 10 выстрелах, если известно, что $a_1 = p = 0{,}2$ попадания.

Решение.

$$a_n = n \cdot a_1 = 10 \cdot 0{,}2 = 2 \text{ попадания.}$$

Это означает следующее: при стрельбе сериями по 10 выстрелов мы можем иметь разное число попаданий в каждой серии, но при большом числе таких стрельб окажется, что на каждые 10 выстрелов придется в среднем по 2 попадания.

Математическим ожиданием числа попаданий называется среднее число попаданий, которое можно получить, если повторить стрельбу большое число раз в одинаковых условиях.

Формула (58) применима для определения математического ожидания числа попаданий в цель при стрельбе как одиночными

выстрелами, так и очередями (залпами) при условии, если вероятность попадания p от выстрела к выстрелу не изменяется.

При стрельбе очередями, когда вероятность попадания первых и последующих пуль неодинакова, математическое ожидание числа попаданий можно определить по формуле:

$$a_n = n_1 \cdot p_1 + n_{\text{посл}} \cdot p_{\text{посл}}, \tag{88}$$

где n_1 — число первых пуль;

p_1 — вероятность попадания каждой из первых пуль;

$n_{\text{посл}}$ — число последующих пуль;

$p_{\text{посл}}$ — вероятность попадания каждой из последующих пуль.

Пример. Определить математическое ожидание числа попаданий при стрельбе тремя очередями, если общее число всех выстрелов равно 12, а вероятность попадания для каждой первой пули $p_1 = 0{,}2$, а для каждой последующей пули $p_{\text{посл}} = 0{,}1$.

Решение:

$$a_n = 3 \cdot 0{,}2 + 9 \cdot 0{,}1 = 0{,}6 + 0{,}9 = 1{,}5 \text{ попадания.}$$

Из выражения (58) получаем:

$$n = \frac{a_n}{a_1} = \frac{a_n}{p}. \tag{89}$$

По этой формуле можно найти среднее число выстрелов для получения заданного числа попаданий в цель.

Пример. Стрельба ведется из миномета по пристрелянной цели, занимающей некоторую площадь. Вероятность попадания $p = 0{,}4$. Для выполнения огневой задачи требуется 2 попадания в цель.

Предположим, что стреляющий имеет возможность наблюдать за результатом каждого выстрела (стрельба ведется методическим огнем) и немедленно прекратить стрельбу, как только будет получено 2 попадания. В этом случае надо определить среднее число выстрелов для получения 2 попаданий.

Решая задачу по формуле (89), получим:

$$n = \frac{a_n}{p} = \frac{2}{0{,}4} = 5 \text{ выстрелов.}$$

Это нужно понимать так: при стрельбе в данных условиях (при $p = 0{,}4$ и наличии возможности наблюдать за результатом каждого выстрела) в некоторых случаях для получения 2 попаданий придется произвести меньше, а в некоторых — больше 5 выстрелов; при общем же подсчете получится, что на каждые 2 попадания придется в среднем 5 выстрелов.

Сравним две стрельбы, из которых первая производится в условиях, когда $a_1 = p = 0{,}5$, а вторая — в условиях, когда $a_1 = p = 0{,}2$.

Предположим, что стреляющий имеет возможность наблюдать за результатом каждого выстрела и для решения огневой задачи требуется 2 попадания. Тогда среднее число выстрелов для решения огневой задачи при первой стрельбе

$$n = \frac{2}{0{,}5} = 4 \text{ выстрела,}$$

а при второй стрельбе

$$n = \frac{2}{0{,}2} = 10 \text{ выстрелов.}$$

Следовательно, чем больше математическое ожидание числа попаданий при одном выстреле, тем меньше потребуется выстрелов для выполнения огневой задачи, тем экономичнее будет стрельба.

Таким образом, математическое ожидание числа попаданий позволяет судить о том, насколько экономична та или другая стрельба.

При стрельбе из автоматического оружия важно знать среднее число очередей для выполнения той или иной огневой задачи.

Положим, что стрельба ведется очередями в k выстрелов и вероятность поражения цели (вероятность попасть хотя бы один раз) от очереди к очереди не изменяется. Стреляющий имеет возможность наблюдать за результатами стрельбы после каждой очереди и немедленно прекратить огонь, как только цель будет поражена.

Если вероятность поражения цели при стрельбе очередью в k выстрелов меньше 100%, то могут быть случаи, когда цель окажется пораженной с 1-й, 2-й, 3-й и т. д. очереди выстрелов, но при большом числе стрельб для поражения цели потребуется в среднем s очередей.

Известно, что при одиночной стрельбе среднее число выстрелов для получения 1 попадания

$$n = \frac{1}{a_1},$$

где $a_1 = p$.

Аналогично этому среднее число очередей для поражения цели 1 раз (хотя бы одной пулей) равно 1 (единице), деленной на вероятность поражения цели при стрельбе одной очередью, т. е.:

$$s = \frac{1}{P_{1\,(оч)}}. \tag{90}$$

Пример. Вероятность попадания $p = 0{,}2$. Стрельба будет вестись очередями по 4 выстрела ($k = 4$). Определить среднее число очередей для поражения цели хотя бы одной пулей.

Решение.

1) Определяем вероятность поражения цели одной очередью:

$$P_{1(оч)} = 1 - (1 - p)^k = 1 - (1 - 0{,}2)^4 = 1 - 0{,}8^4 = 1 - 0{,}41 = 0{,}59.$$

2) Определяем среднее число очередей для поражения цели:

$$s = \frac{1}{P_{1(оч)}} = \frac{1}{0{,}59} \approx 1{,}7 \text{ очереди.}$$

Зная среднее число очередей для поражения цели и число выстрелов в каждой очереди k, легко определить среднее число выстрелов по формуле (87):

$$n = s \cdot k.$$

По условиям предыдущего примера среднее число выстрелов

$$n = s \cdot k = 1{,}7 \cdot 4 = 6{,}8 \text{ выстрела.}$$

Формулу среднего числа выстрелов при стрельбе очередями можно обобщить, для чего в выражение (87) нужно подставить значение s, взятое из выражения (90). Тогда получим:

$$n = \frac{k}{P_{\text{I(оч)}}}. \qquad (91)$$

Пример. Стрельба будет вестись очередями (залпами) по 6 выстрелов. Вероятность поражения цели при стрельбе одной очередью $P_{\text{I (оч)}} = 0{,}40$. Определить среднее число выстрелов для поражения цели.

Решение.

$$n = \frac{k}{P_{\text{I(оч)}}} = \frac{6}{0{,}40} = 15 \text{ выстрелов.}$$

3. УПРОЩЕННЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СТРЕЛЬБЫ И НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ВЫСТРЕЛОВ ПРИ СТРЕЛЬБЕ С ЗАДАННОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ ПОРАЖЕНИЯ ЦЕЛИ

Положим, что вероятность попадания p от выстрела к выстрелу не изменяется. Рассмотрим при этом, как изменяется вероятность поражения цели в зависимости от числа выстрелов, а следовательно, и от математического ожидания числа попаданий в цель. Возьмем для этого три случая стрельбы с разным числом выстрелов, если вероятность попадания p во всех трех случаях одинакова и равна 0,1, или 10%.

1-й случай. По цели будет произведено 5 выстрелов.

Математическое ожидание числа попаданий в цель

$$a_n = na_1 = 5 \cdot 0{,}1 = 0{,}5 \text{ попадания.}$$

Вероятность поражения цели

$$P_{\text{I}} = 1 - (1 - p)^n = 1 - (1 - 0{,}1)^5 = 1 - 0{,}9^5 = 1 - 0{,}59 = 0{,}41, \text{ или } 41\%.$$

2-й случай. По цели будет произведено 10 выстрелов.

$$a_n = 10 \cdot 0{,}1 = 1 \text{ попадание.}$$

$$P_{\text{I}} = 1 - (1 - 0{,}1)^{10} = 1 - 0{,}9^{10} = 1 - 0{,}348 = 0{,}652, \text{ или } 65{,}2\%.$$

3-й случай. По цели будет произведено 20 выстрелов.

$$a_n = 20 \cdot 0{,}1 = 2 \text{ попадания.}$$

$$P_{\text{I}} = 1\,(1 - 0{,}1)^{20} = 1 - 0{,}9^{20} = 1 - 0{,}122 = 0{,}878, \text{ или } 87{,}8\%.$$

По результатам вычислений видно, что с увеличением математического ожидания числа попаданий вероятность поражения цели увеличивается. Однако вероятность поражения цели изменяется не прямо пропорционально математическому ожиданию числа попаданий в цель. На самом деле, при $a_n = 0{,}5$ попадания $P_{\text{I}} = 0{,}41$;

с увеличением a_n в 2 раза P_1 увеличивается примерно в 1,5 раза; при увеличении a_n в 4 раза P_1 увеличивается примерно в 2 раза.

Теперь рассмотрим, как изменяется вероятность поражения цели в зависимости от вероятности попадания p при условии, если математическое ожидание числа попаданий в цель остается неизменным. Для этого возьмем два случая стрельбы при равных значениях a_n, но при разных вероятностях попадания в цель.

1-й случай. По цели будет произведено 40 выстрелов. Определить вероятность поражения цели, если вероятность попадания $p = 0{,}05$.

Математическое ожидание числа попаданий в цель

$$a_n = 40 \cdot 0{,}05 = 2 \text{ попадания.}$$

Вероятность поражения цели

$$P_1 = 1 - (1 - 0{,}05)^{40} = 1 - 0{,}95^{40} = 1 - 0{,}129 = 0{,}871, \text{ или } 87{,}1\%.$$

2-й случай. По цели будет произведено 20 выстрелов. Определить вероятность поражения цели, если вероятность попадания $p = 0{,}1$.

$$a_n = 20 \cdot 0{,}1 = 2 \text{ попадания.}$$

$$P_1 = 1 - (1 - 0{,}1)^{20} = 1 - 0{,}9^{20} = 1 - 0{,}122 = 0{,}878, \text{ или } 87{,}8\%.$$

Результаты вычисления показывают, что как в первом, так и во втором случае математическое ожидание числа попаданий в цель равно 2 попаданиям. Однако вероятность поражения цели в первом случае равна 87,1%, а во втором случае 87,8%. Значит, вероятность поражения цели зависит и от величины вероятности попадания в цель.

В табл. 18 для сравнения указаны значения вероятности поражения цели в зависимости от вероятности попадания и от математического ожидания числа попаданий в цель.

Таблица 18

Вероятность попадания p	Математическое ожидание числа попаданий в цель a_n				
	1	2	3	4	5
	Значения вероятности поражения цели P_1				
0,01	0,637	0,868	0,952	0,983	0,994
0,02	0,638	0,868	0,952	0,983	0,994
0,05	0,640	0,871	0,953	0,983	0,994
0,10	0,652	0,878	0,958	0,986	0,995
0,20	0,672	0,893	0,965	0,988	0,996
0,30	0,700	0,906	0,972	0,991	0,997
0,40	0,720	0,922	0,978	0,994	0,998
0,50	0,750	0,938	0,984	0,996	0,999
0,60	0,795	0,954	0,990	0,998	0,999

Из таблицы видно, что с количественной стороны разница вероятностей поражения цели для различных значений вероятности по-

падания до 0,3 невелика. Поэтому есть смысл пренебречь этой разницей и условно считать, что во всех случаях, когда вероятность попадания p меньше 0,3, вероятность поражения цели зависит только от математического ожидания числа попаданий в цель. Такое допущение дает возможность упростить расчеты по определению вероятности поражения цели и расхода боеприпасов, используя при этом готовую таблицу зависимости между вероятностью поражения цели и математическим ожиданием числа попаданий в цель. Такая таблица рассчитана для вероятности попадания $p = 0{,}1$ (см. приложение, табл. 3), поэтому при пользовании ею мы будем допускать некоторые ошибки, если вероятность попадания p будет больше или меньше 0,1.

Так, например, по табл. 18 находим, что при вероятности попадания $p = 0{,}3$ математическому ожиданию числа попаданий $a_n = 1$ соответствует вероятность поражения цели $P_1 = 0{,}700$, или 70%. Решая эту задачу по табл. 3 (см. приложение), мы получим $P_1 = 0{,}652$, или 65,2%, допуская при этом ошибку в меньшую сторону, равную 4,8%, что по отношению к истинному результату (к 70%) составляет 7% (округленно). Такую ошибку можно считать максимальной, так как из табл. 18 видно, что с увеличением математического ожидания числа попаданий ошибки в значениях P_1 становятся все меньше и меньше. Так, например, при $p = 0{,}3$ математическому ожиданию числа попаданий $a_n = 3$ соответствует $P_1 = 0{,}972$. Решая эту же задачу по табл. 3 (см. приложение), получим $P_1 = 0{,}958$, допуская при этом относительную ошибку, равную — 1,4%. Если при тех же условиях ($p = 0{,}3$; $a_n = 3$) будет решаться обратная задача — определение необходимого количества патронов,— относительная ошибка будет равна +1,4%.

На конкретных примерах решим ряд типичных задач с помощью табл. 3 (см. приложение).

Пример 1. Вероятность попадания в цель $p = 0{,}12$. Определить вероятность поражения цели при 15 выстрелах.

Решение. 1) Определяем математическое ожидание числа попаданий в цель:

$$a_n = np = 15 \cdot 0{,}12 = 1{,}8 \text{ попадания.}$$

2) По табл. 3 находим, что при $a_n = 1{,}8$ вероятность поражения цели $P_1 = 0{,}850$, или 85%.

Пример 2. Вероятность попадания в цель $p = 0{,}08$. Определить средний расход патронов для вероятности поражения цели $P_1 = 0{,}90$, или 90%.

Решение. По табл. 3 находим, что вероятности поражения цели $P_1 = 0{,}90$ (0,900) соответствует $a_n = 2{,}18$ попаданиям. Иначе говоря, для получения вероятности поражения цели, равной 0,90, надо произвести такое число выстрелов, чтобы среднее число попаданий в цель было равно 2,18 попадания.

Тогда определяем средний расход патронов:

$$n = \frac{a_n}{a_1} = \frac{2{,}18}{0{,}08} \approx 27 \text{ патронов.}$$

Пример 3. Стрельба ведется из ротного пулемета очередями по 16 выстрелов. Вероятность попадания $p = 0{,}03$. Стреляющий имеет возможность на-

блюдать за результатом каждой очереди и прекратить стрельбу, как только будет поражена цель. Определить среднее число очередей и среднее число выстрелов для выполнения огневой задачи.

Р е ш е н и е. 1) Определяем математическое ожидание числа попаданий в цель при стрельбе одной очередью в 16 выстрелов:

$$a_n = na_1 = 16 \cdot 0{,}03 = 0{,}48 \text{ попадания.}$$

2) По табл. 3 находим, что при $a_n = 0{,}48$ попадания вероятность поражения цели $P_1 = 0{,}397$.

3) Определяем среднее число очередей:

$$s = \frac{1}{P_{1\,(\text{оч})}} = \frac{1}{0{,}397} \approx 2{,}5 \text{ очереди.}$$

4) Определяем среднее число выстрелов:

$$n = sk = 2{,}5 \cdot 16 = 40 \text{ патронов.}$$

4. ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ, ОТ КОТОРЫХ ЗАВИСИТ РАСХОД ПАТРОНОВ ДЛЯ ПОРАЖЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ЦЕЛЕЙ

Общий расход патронов для выполнения огневых задач зависит от многих условий и прежде всего от возможности наблюдения за результатами стрельбы и своевременного внесения необходимых изменений в установки прицельных приспособлений с задачей отыскать такие установки, при которых поражение цели наиболее вероятно. Чем лучше условия наблюдения за падением пуль, тем точнее и с меньшим расходом патронов будут найдены нужные установки прицельных приспособлений и тем меньше потребуется патронов для стрельбы на поражение цели.

В дальнейшем мы будем рассматривать расход патронов для поражения целей, считая, что установки прицельных приспособлений правильны и не требуют изменения в процессе стрельбы.

Рассмотрим расход патронов, необходимый для поражения одиночных целей, в условиях, когда стреляющий имеет возможность наблюдать за результатом каждого выстрела (или каждой очереди) и при поражении цели немедленно переносить огонь на другую цель.

Положим, что стрельба ведется одиночными выстрелами (из карабина) по одинаковым целям на одном и том же расстоянии. Следовательно, вероятность попадания p при стрельбе в каждую цель и при каждом выстреле имеет одно и то же значение.

При этом условии расход патронов на одну цель рассчитывается по формуле (89) среднего числа выстрелов для получения одного попадания.

Пример. Вероятность попадания $p = 0{,}2$.

$$a_1 = p = 0{,}2.$$

Среднее число выстрелов для получения одного попадания:

$$n = \frac{1}{a_1} = \frac{1}{0{,}2} = 5 \text{ патронов.}$$

Справедливость такого расчета патронов в данных условиях можно обосновать следующим рассуждением.

При большом числе стрельб будут случаи, когда для получения 1 попадания придется произвести меньше и больше 5 выстрелов, но в среднем из каждых 5 выстрелов мы получим 1 попадание. Так как при получении одного попадания в очередную цель стрельба по ней прекращается, в каждой пораженной цели будет только одно попадание. Из этого следует, что на каждые 5 выстрелов в среднем будет поражена 1 цель, или, что то же самое, для поражения одной цели потребуется в среднем 5 выстрелов.

Так рассчитаны таблицы в наставлениях по стрелковому делу, в которых указано количество патронов, необходимое для поражения одиночных целей.

Положим теперь, что стрельба ведется из автоматического оружия очередями. Стреляющий имеет возможность наблюдать за результатом каждой очереди и при поражении очередной цели немедленно переносить огонь на другую цель. Расход патронов на одну цель при этом рассчитывается по формуле (91) среднего числа выстрелов при стрельбе очередями.

Исследуем зависимость расхода патронов от длины очередей и сделаем некоторые выводы о том, какой должна быть длина очереди, с учетом тех или иных условий стрельбы.

Решим такую задачу. Стрельба ведется из ротного пулемета. Вероятность попадания $p = 0{,}1$. Определить среднее число очередей и среднее число выстрелов, если длина каждой очереди $k = 3$ выстрелам.

Вероятность поражения цели при стрельбе одной очередью в k выстрелов

$$P_{1\,(оч)} = 1 - (1 - p)^k = 1 - (1 - 0{,}1)^3 = 1 - 0{,}9^3 = 1 - 0{,}729 = 0{,}271.$$

Среднее число очередей

$$s = \frac{1}{P_{1\,(оч)}} = \frac{1}{0{,}271} \approx 3{,}7 \text{ очереди.}$$

Среднее число выстрелов

$$n = s \cdot k = 3{,}7 \cdot 3 \approx 11 \text{ выстрелов.}$$

Это означает следующее: при стрельбе очередями по 3 выстрела цель может быть поражена с 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и т. д. очереди, но при большом числе таких стрельб на каждую пораженную цель придется в среднем по 3,7 очереди; или при стрельбе очередями по 3 выстрела общий расход патронов на одну цель может быть больше и меньше 11, но при большом числе таких стрельб на каждую пораженную цель придется в среднем по 11 патронов.

Таким же способом определим значения s и n для других значений k (при $p = 0{,}1$) и сведем их в таблицу (табл. 19).

Таблица 19

Длина очереди k	Среднее число очередей s	Среднее число выстрелов n
1	10	10
3	3,7	11
5	2,4	12
8	1,75	14
10	1,5	15
15	1,26	19
20	1,14	23
25	1,08	27

По данным табл. 19 видно следующее:

1. С увеличением длины очереди среднее число выстрелов, необходимое для поражения цели, увеличивается. Из этого следует вывод о том, что чем больше длина очереди, тем менее экономичной будет стрельба; наиболее экономичной является стрельба одиночными выстрелами.

2. С увеличением длины очереди среднее число очередей уменьшается.

Посмотрим, как это отражается на времени, необходимом для выполнения огневых задач. Для этого сравним две стрельбы, из которых первая ведется очередями по 3 выстрела, вторая — очередями по 8 выстрелов. Для упрощения расчетов полученные значения s для первой и второй стрельбы округлим до целого числа в бо́льшую сторону. Тогда получим: при стрельбе очередями по 3 выстрела $s = 4$; $n = 4 \cdot 3 = 12$ выстрелов; очередями по 8 выстрелов $s = 2$; $n = 2 \cdot 8 = 16$ выстрелов.

Положим, что как первая, так и вторая стрельба ведется с интервалами между очередями, равными 2 секундам, а техническая скорострельность равна 10 выстрелам в 1 секунду. Тогда для первой стрельбы потребуется 7,2 сек. $(2 \cdot 3 + 0{,}1 \cdot 12 = 7{,}2)$, а для второй стрельбы 3,6 сек. $(2 \cdot 1 + 0{,}1 \cdot 16 = 3{,}6)$.

Из э́того следует вывод о том, что чем больше длина очереди, тем меньше потребуется времени для выполнения огневой задачи.

Таким образом, мы приходим к общему выводу: чем больше длина очереди, тем больше потребуется патронов, но меньше времени для выполнения огневой задачи.

Какова же должна быть длина очереди с учетом наиболее целесообразного выполнения требований надежности и экономичности стрельбы? На такой вопрос трудно дать общий ответ, так как в боевой действительности могут сложиться весьма различные условия.

Могут быть такие случаи, когда время на выполнение огневой задачи имеет второстепенное значение, а наличие боеприпасов ограничено. Очевидно, что в таких случаях придется экономить патроны и вести стрельбу короткими очередями. Но чаще бывает так, что

время на выполнение огневой задачи имеет решающее значение. В таких случаях, чтобы обеспечить достаточную надежность стрельбы при наименьшей затрате времени, придется поступиться некоторой экономией патронов и увеличить длину очереди.

На длину очереди влияет и характер цели. Положим, что цель появилась вблизи укрытия и в любой момент может скрыться. Повторение стрельбы по такой цели невозможно, поэтому стрельба должна вестись одной очередью, обеспечивающей достаточную надежность поражения цели.

Как ни разнообразны условия боевой обстановки, некоторые общие положения о длине очереди выстрелов все же можно установить.

Из табл. 19 видно следующее: если при стрельбе одиночными выстрелами для поражения цели (при $p = 0{,}1$) потребуется в среднем 10 отдельных выстрелов, то при стрельбе очередями по 3 выстрела средний расход патронов увеличивается незначительно (только на 1 патрон), а среднее число очередей сокращается до 3,7, т. е. почти в 3 раза. При увеличении длины очереди от 3 до 10 выстрелов средний расход патронов увеличивается только в 1,4 раза ($15 : 11 \approx 1{,}4$), а среднее число очередей сокращается в 2,5 раза ($3{,}7 : 1{,}5 \approx 2{,}5$). Из этого можно сделать вывод, что при $p = 0{,}1$ стрельба очередями менее 10 выстрелов является нецелесообразной, так как потребуется много времени на выполнение огневой задачи. Таким образом, минимальной очередью в данных условиях (при $p = 0{,}1$) можно считать 10 выстрелов, т. е. такую очередь, при которой математическое ожидание числа попаданий равно 1 попаданию ($a_n = 10 \cdot 0{,}1 = 1$). Такой вывод можно распространить на любую стрельбу для любой вероятности попадания. Так, например, если стрельба ведется из ручного пулемета и вероятность попадания $p = 0{,}2$, то a_n, равное 1 попаданию, будет при 5 выстрелах; следовательно, минимальной очередью является очередь в 5 выстрелов.

Теперь рассмотрим, как нужно производить расчет патронов для поражения целей при условии, когда наблюдение во время стрельбы затруднено. Положим, что стрельба ведется одиночными выстрелами по одинаковым целям и вероятность попадания p при стрельбе в каждую цель и при каждом выстреле имеет одно и то же значение. Так как наблюдение за результатом каждого выстрела невозможно, то стреляющий не может немедленно прекратить стрельбу, как только будет поражена 1 очередная цель. Очевидно, что в этом случае надо по каждой цели произвести какое-то определенное число выстрелов.

Рассматривая наблюдаемую стрельбу одиночными выстрелами, мы установили, что средний расход патронов на одну цель в этом случае рассчитывается по формуле (89). Так, например, если вероятность попадания $p = 0{,}2$, то для получения одного попадания среднее число выстрелов $n = \frac{1}{0{,}2} = 5$; следовательно, на одну цель требуется в среднем 5 патронов.

Посмотрим, что получится, если при стрельбе произвести по 5 выстрелов в каждую цель, не имея возможности наблюдать за результатами стрельбы.

При 5 выстрелах в одну цель и при $p = 0{,}2$ вероятность поражения цели

$$P_1 = 1 - (1 - 0{,}2)^5 = 1 - 0{,}8^5 = 1 - 0{,}328 = 0{,}672, \text{ или}$$

67% (округленно).

Так как по каждой цели будет произведено по 5 выстрелов, то при большом числе таких стрельб окажется, что из каждых 100 обстрелянных целей будет поражено в среднем только 67, или 67%. Очевидно, что в данных условиях (когда наблюдение за результатами каждого выстрела невозможно) 5 выстрелов на каждую цель не обеспечивают достаточной надежности стрельбы.

Выше было установлено, что достаточно надежной надо считать такую стрельбу, когда вероятность поражения цели близка к 90%. Определим количество патронов на каждую цель, необходимое для того, чтобы вероятность поражения была равна 90%.

По табл. 3 приложения находим, что вероятности поражения цели $P_1 = 0{,}90$ соответствует математическое ожидание числа попаданий в цель $a_n = 2{,}18$ попадания; тогда

$$n = \frac{2{,}18}{0{,}2} \approx 11 \text{ патронов.}$$

К такому же примерно результату мы придем при решении задачи по формуле (55).

Так производится расчет расхода патронов на одну цель, когда стреляющий не имеет возможности наблюдать за результатом каждого выстрела и прекращать стрельбу, как только цель будет поражена.

Сравним результаты расчетов количества патронов на одну цель в двух рассмотренных случаях (при $p = 0{,}2$). Положим, что в том и другом случае стрельба ведется по 20 одинаковым целям.

В первом случае (когда наблюдение за результатом каждого выстрела возможно) для поражения всех 20 целей потребуется в среднем 100 патронов ($5 \cdot 20 = 100$).

Так как $a_1 = p = 0{,}2$, математическое ожидание числа попаданий при 100 выстрелах $a_n = 100 \cdot 0{,}2 = 20$ попаданий. Всего целей 20, и в каждой из них будет только 1 попадание.

Во втором случае (когда наблюдение за результатом каждого выстрела невозможно) для поражения 18 целей (90%) потребуется 220 патронов ($11 \cdot 20 = 220$).

И в этом случае $a_1 = p = 0{,}2$. Тогда математическое ожидание числа попаданий при 220 выстрелах $a_n = 220 \cdot 0{,}2 = 44$ попадания, т. е. больше, чем в первом случае, в 2,2 раза. Следовательно, будут случаи, когда некоторые цели окажутся пораженными двумя, тремя и более пулями.

Из этого сравнения видно, насколько стрельба в первом случае экономичнее, чем во втором, и какое большое значение имеет тщательное и умелое наблюдение при стрельбе по одиночным целям.

Для автоматической стрельбы, когда вероятность попадания от выстрела к выстрелу не меняется, количество патронов на одну цель рассчитывается так же, как и для одиночных выстрелов, с задачей поразить цель с вероятностью, близкой к 90%. Так как наблюдение за результатами стрельбы невозможно, нет никаких оснований вести стрельбу несколькими очередями, и если позволяют технические возможности данного вида оружия, стрельба должна вестись одной очередью полным количеством патронов, необходимым для получения заданной вероятности поражения цели. Такая стрельба является более надежной в отношении поражения цели (цель не успеет уйти в укрытие) и более экономичной по времени.

5. НАДЕЖНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ СТРЕЛЬБЫ С РАССЕИВАНИЕМ ПО ФРОНТУ ПО ГРУППОВЫМ ШИРОКИМ ЦЕЛЯМ

Надежность стрельбы по групповой цели определяется числом или процентом пораженных фигур, входящих в данную цель. Так, например, считают, что огонь на уничтожение групповой цели ведется с задачей поражения до 80% фигур, огонь на подавление — до 50% фигур.

Решая огневую задачу, стреляющий должен иметь представление о том, какова может быть степень поражения групповой цели при израсходовании того или иного количества патронов, и наоборот, имея задачу добиться той или иной степени поражения цели, стреляющий должен знать требуемый расход патронов.

Предположим, что групповая цель состоит из одинаковых по размеру фигур и расположена на некотором рубеже. Требуется определить, на поражение какого количества фигур (в процентах) можно рассчитывать, если по данной цели будет произведено n выстрелов с равномерным искусственным рассеиванием пуль по всему рубежу, занятому фигурами.

Пусть вероятность поражения одной фигуры данной цели при n выстрелах равна 0,6, или 60%. Это означает, что в 60 случаях из 100 подобных стрельб данная фигура будет поражена одной или несколькими пулями, а в 40 случаях эта фигура не будет поражена.

Если групповая цель состоит из 100 одинаковых фигур и стрельба ведется с равномерным рассеиванием пуль по всей групповой цели, то вероятность поражения каждой фигуры будет одинакова и равна 60%. Тогда есть основание рассчитывать, что при n выстрелах будет поражено 60 фигур, что составляет 0,6 или 60% от общего состава групповой цели.

Следовательно, **средний ожидаемый процент пораженных фигур в групповой цели** при заданном числе выстрелов численно равен вероятности поражения одной фигуры (в процентах) при том же числе выстрелов.

Значит, для того, чтобы определить средний ожидаемый процент поражения фигур в групповой цели, достаточно определить вероятность поражения одной фигуры. Полученный результат, выраженный в процентах, и будет выражать надежность стрельбы.

Для того чтобы определить вероятность поражения одной фигуры, нужно прежде всего знать вероятность попадания в эту фигуру. Вероятность попадания в одну фигуру в групповой широкой цели определяется подобно тому, как и вероятность попадания в одиночную цель при стрельбе с искусственным рассеиванием по фронту, т. е по формуле (83):

$$p = \frac{p_{2y} \cdot s}{2y \cdot Фр}.$$

Найдя p и зная количество патронов n на стрельбу, легко определить среднее ожидаемое число попаданий в фигуру:

$$a_n = np,$$

а затем по табл. 3 (см. приложение) найти, какая вероятность поражения фигуры (какой процент пораженных фигур) соответствует найденной величине a_n. Если в выражение $a_n = np$ подставить значение p, то получим формулу для определения a_n при стрельбе с рассеиванием по фронту:

$$a_n = \frac{p_{2y} \cdot s \cdot n}{2y \cdot Фр}. \qquad (92)$$

Пример. Стрельба ведется из станкового пулемета тяжелой пулей с рассеиванием по фронту по грудным фигурам, расположенным на фронте 30 *м*. Дальность стрельбы 500 *м*.

Определить средний ожидаемый процент пораженных фигур, если по ним будет израсходовано 100 патронов и средняя траектория пройдет по середине цели.

Р е ш е н и е. По таблицам стрельбы находим *Вв* (увеличенное в 1,75 раза) = $= 0{,}19 \cdot 1{,}75 \approx 0{,}33$ *м*;

$2y = 0{,}50$ *м*; $y = 0{,}50 : 2 = 0{,}25$ *м*;

s (площадь фигуры) $= 0{,}18$ *м*^{2};

$n = 100$ патронов;

Фр (фронт рассеивания) $= 30$ *м*.

Определяем:

$$p_{2y} = \Phi\left(\frac{y}{Вв}\right) = \Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}33}\right) = \Phi\,(0{,}76) = 0{,}392.$$

$$a_n = \frac{p_{2y} \cdot s \cdot n}{2y \cdot Фр} = \frac{0{,}392 \cdot 0{,}18 \cdot 100}{0{,}50 \cdot 30} = 0{,}47 \text{ попадания.}$$

По табл. 3 находим, что вероятность поражения одной фигуры при $a_n = 0{,}47$ равна 0,39 или 39%. Следовательно, средний ожидаемый процент пораженных фигур равен 39%.

Заметим, что при данном способе подсчета вероятности поражения групповой цели ожидаемое относительное количество пораженных фигур не зависит от плотности групповой цели. Однако абсолютное ожидаемое количество пораженных фигур, конечно, будет

различным в зависимости от величины интервалов между фигурами по фронту групповой цели. Так, в условиях предыдущего примера при размещении на данной ширине фронта 10 фигур следует ожидать поражения 4 фигур, при размещении 5 фигур следует ожидать поражения 2 фигур.

Мы рассмотрели способ определения степени поражения групповой цели при том или ином расходе патронов. Для теоретического обоснования правил стрельбы приходится решать обратные задачи, т. е. определять требуемый расход патронов на поражение той или иной цели с заданной степенью поражения.

Из формулы (92) определим значение n. Формула определения количества патронов, необходимого для того, чтобы поразить групповую цель с заданной степенью поражения, будет иметь следующий вид:

$$n = \frac{a_n \cdot 2y \cdot Фр}{p_{2y} \cdot s}, \qquad (93)$$

где a_n находится по таблице 3 (см. приложение) соответственно заданной степени поражения групповой цели.

Пример. Стрельба ведется из станкового пулемета тяжелой пулей с рассеиванием по фронту по бегущим фигурам на фронте 50 *м*. Дальность стрельбы 900 *м*. Средняя траектория проходит по середине цели.

Определить количество патронов, необходимое для поражения 50% всех фигур.

Р е ш е н и е. Находим:

$a_n = 0{,}66$ (по табл. 3 приложения);

$Вв$ (увеличенное в 1,75 раза) $= 0{,}35 \cdot 1{,}75 \approx 0{,}61$ *м*;

$2y = 1{,}50$ *м*; $y = 1{,}50 : 2 = 0{,}75$ *м*;

$s = 0{,}6$ *м*^{2};

$Фр = 50$ *м*.

Определяем:

$$p_{2y} = \Phi\left(\frac{y}{Вв}\right) = \Phi\left(\frac{0{,}75}{0{,}61}\right) = \Phi\,(1{,}23) = 0{,}593;$$

$$n = \frac{a_n \cdot 2y \cdot Фр}{p_{2y} \cdot s} = \frac{0{,}66 \cdot 1{,}5 \cdot 50}{0{,}593 \cdot 0{,}6} = 140 \text{ патронов.}$$

Изложенные выше способы определения степени поражения групповой цели и количества патронов для выполнения огневых задач имеют то достоинство, что они весьма просты. Однако достаточно точные результаты они дают лишь при условии, когда расстояние до цели, состоящей из головных фигур, — не менее 200 *м*, грудных фигур — не менее 300 *м*, поясных фигур — не менее 400 *м*, бегущих и ростовых — не менее 500 *м*. С уменьшением расстояния до цели (по сравнению с указанными) ошибки при решении подобных задач рассмотренными выше способами увеличиваются и могут быть весьма существенными.

В таких случаях следует применять другой способ решения этих задач, без использования табл. 3, который дает более точный результат [1].

[1] Этот способ предложен майором К. Цветаевым. См. журнал «Военный вестник», № 9, 1956 г.

При равномерном искусственном рассеивании пуль по фронту каждый последующий выстрел происходит после перемещения ствола пулемета в горизонтальной плоскости примерно на одну и ту же угловую величину. Если бы не было естественного рассеивания, то при стрельбе по сплошному щиту мы получили бы ряд пробоин с одинаковыми промежутками между ними. Но так как естественное рассеивание неизбежно, то, строго говоря, расположение пробоин на щите не будет равномерным, потому что каждая пуля получит какое-то отклонение относительно своего центра рассеивания.

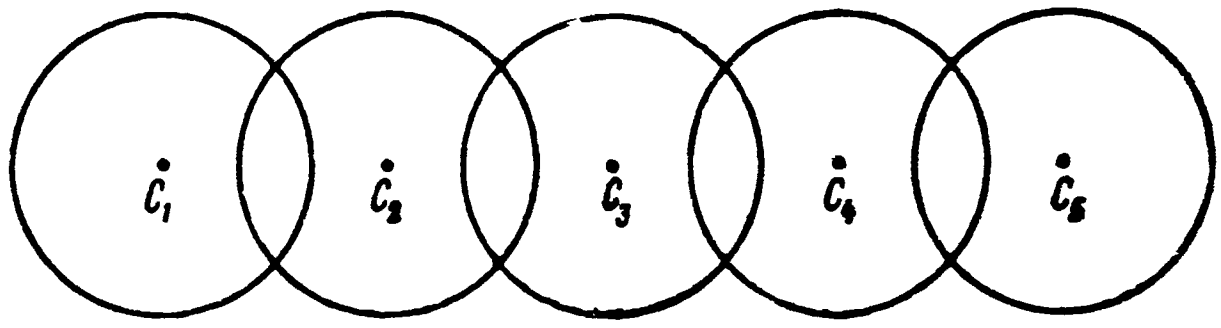


Рис. 161. Центры рассеивания пуль при стрельбе с искусственным рассеиванием по фронту

На рис. 161 показаны центры рассеивания (C_1, C_2, C_3, ...), соответствующие направлениям ствола пулемета в момент первого, второго, третьего и т. д. выстрелов с одинаковыми промежутками между ними. Для каждого выстрела обозначена площадь рассеивания, в пределах которой может оказаться пробоина.

Как было сказано выше, для того чтобы определить средний ожидаемый процент пораженных фигур в групповой цели, надо вычислить вероятность поражения одной какой-либо фигуры (в процентах); полученный результат и покажет средний ожидаемый процент пораженных фигур.

Используя это положение, решим такую задачу (без применения табл. 3). Стрельба ведется из станкового пулемета патронами с легкой пулей с рассеиванием по фронту по бегущим фигурам на расстоянии 200 *м*. Определить вероятность поражения одной какой-либо фигуры, а следовательно, и средний ожидаемый процент пораженных фигур, если на каждые 10 *м* фронта будет израсходовано 20 патронов, а ось рассеивания пройдет по середине всех фигур.

Запишем некоторые данные, необходимые для решения задачи, $Bв = Bб \approx 0{,}12$ *м* (увеличены в 1,75 раза). Высота цели $2y = 1{,}5$ *м*. Ширина цели $2z = 0{,}5$ *м*. Так как на каждый метр фронта цели приходится 2 пули, то промежутки между C_1, C_2, C_3, ... будут равны 0,5 *м*.

На рис. 162 в условном

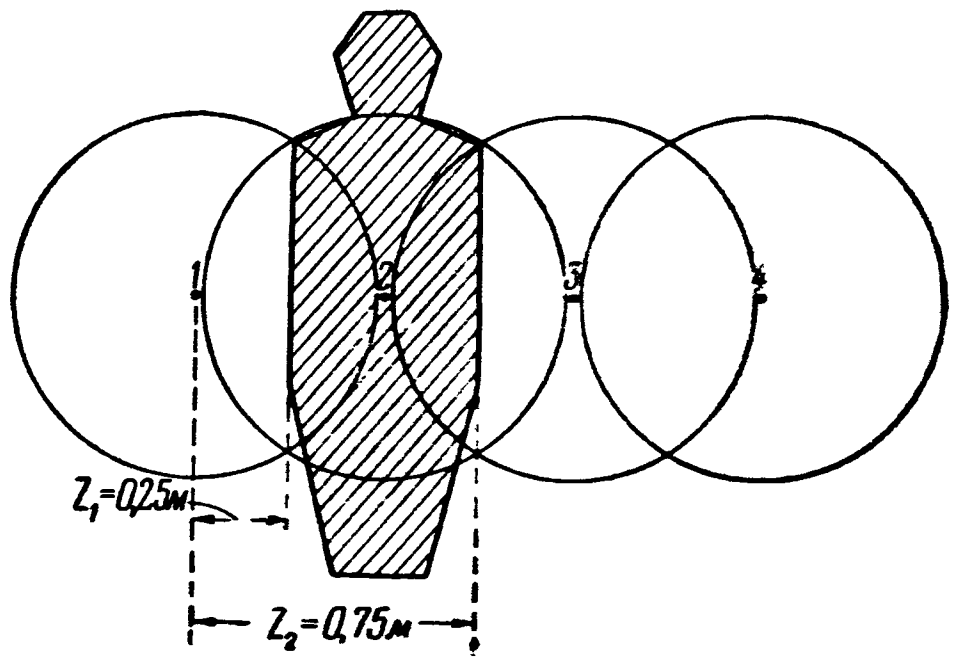


Рис. 162. Определение вероятности поражения цели (лучший случай)

масштабе показано расположение центров рассеивания при первом, втором, третьем и четвертом выстрелах с промежутками в 0,5 *м* и одно из возможных положений одной фигуры, когда центр ее совпадает с центром рассеивания для одного из выстрелов (C_2).

Определим вероятность поражения одной фигуры при данном ее положении. Как видно из рисунка, фигура (мишень) может быть поражена и первой, и второй, и третьей пулями. Определим вероятность попадания в фигуру (вероятность ее поражения) при первом, а затем при втором и третьем выстреле. Так как вероятность попадания в полосу по высоте цели $p_{2y} = 1$, вероятность попадания в фигуру равна вероятности попадания в полосу, равную ширине этой фигуры.

Вероятность попадания первой пули

$$p_1 = p_{2z} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{z_2}{B\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{z_1}{B\sigma}\right)\right] = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{0{,}75}{0{,}12}\right) - \Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}12}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[\Phi(6{,}25) - \Phi(2{,}08)\right] = \frac{1}{2}(1{,}00 - 0{,}839) = 0{,}08.$$

Вероятность попадания второй пули

$$p_2 = p_{2z} = \Phi\left(\frac{z}{B\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}12}\right) = \Phi(2{,}08) = 0{,}839 \approx 0{,}84.$$

Вероятность попадания третьей пули

$p_3 = 0{,}08$ (такая же, как и первой пули).

Вероятность поражения фигуры хотя бы одной пулей определяется:

$$P_1 = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3) = 1 - (1 - 0{,}08)(1 - 0{,}84)(1 - 0{,}08) =$$

$$= 1 - (0{,}92 \cdot 0{,}16 \cdot 0{,}92) = 1 - 0{,}135 = 0{,}865, \text{ или } 86{,}5\%.$$

Мы взяли наивыгоднейший случай, когда центр фигуры совмещен с центром рассеивания для одного из выстрелов.

На рис. 163 показан случай, когда центр фигуры оказался в промежутке между центрами рассеивания для двух смежных пуль. Определим вероятность поражения фигуры при данном ее положении. Без каких-либо расчетов видно, что вероятность попадания в фигуру второй и третьей пули одинакова и равна примерно 0,5. Вероятность поражения цели хотя бы одной пулей при двух выстрелах

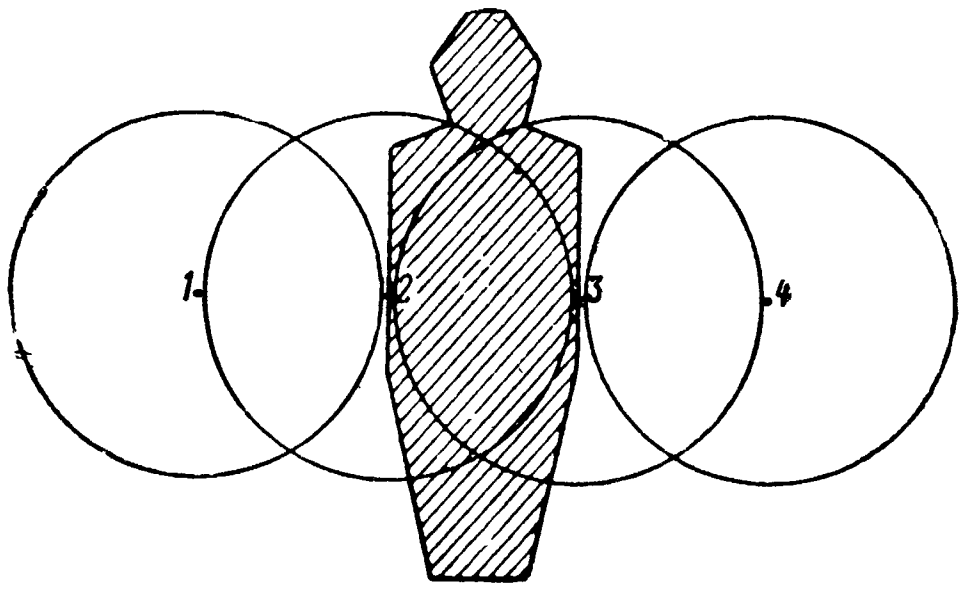


Рис. 163. Определение вероятности поражения цели (худший случай)

$$P_1 = 1 - (1 - 0{,}5)^2 =$$

$$= 1 - 0{,}25 = 0{,}75, \text{ или } 75\%.$$

Итак, вероятность поражения фигуры в лучшем случае равна 0,865 и в худшем случае 0,750. В среднем можно считать, что вероятность поражения фигуры

$$P_1 = (0{,}865 + 0{,}750) : 2 =$$

$$= 0{,}807, \text{ или } 80{,}7\%.$$

Для сравнения решим эту же задачу с помощью табл. 3.

По условиям задачи на 1 *м* фронта цели приходится 2 пули; следовательно, на ширину одной фигуры (0,5 *м*) придется в среднем 1 попадание. Так как все пули окажутся в пределах полосы, равной высоте цели, то математическое ожидание числа попаданий в одну фигуру $a_n = 1$. По табл. 3 находим, что при $a_n = 1$ вероятность поражения одной фигуры $P_1 = 65\%$.

Как видно из этого примера, способ определения вероятности поражения цели (среднего ожидаемого процента пораженных фигур) с использованием табл. 3 дает явно заниженный результат.

ГЛАВА XIII

ВЕРОЯТНОСТЬ ПОПАДАНИЯ И ПОРАЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНЫХ ОШИБОК, СОПРОВОЖДАЮЩИХ СТРЕЛЬБУ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЯ

При стрельбе в реальных условиях средняя траектория всегда будет иметь какое-то отклонение относительно центра цели. Причинами этого являются случайные ошибки, сопровождающие стрельбу. К ним относятся: ошибки в определении расстояния до цели, ошибки в расчетах поправок на метеорологические условия, ошибки в установке прицельных приспособлений, ошибки в наводке и др. Одни ошибки являются причиной отклонений средней траектории относительно цели по высоте (по дальности), другие — по боковому направлению, а некоторые из них — одновременно и по высоте и по боковому направлению.

Выше были рассмотрены способы определения вероятности попадания, применяемые как при совмещении средней траектории с центром цели, так и при любом заданном ее отклонении. Но чаще всего до стрельбы мы не можем знать, каково будет это отклонение, так как мы не можем знать величин ошибок, которые будут допущены при данной стрельбе. В таких случаях вероятность попадания определяется с учетом закона ошибок, сопровождающих данную стрельбу.

Большинство ошибок, сопровождающих стрельбу, следует нормальному закону, поэтому в результате одновременного действия двух систем векториальных ошибок, имеющих разные направления (по высоте и по боковому направлению), отклонение средней траектории будет распределяться вокруг цели по закону эллиптической ошибки, т. е. неравномерно, симметрично и небеспредельно.

Положим, что на неизмеренном расстоянии установлены две одинаковые цели на двух больших щитах. Стрельба по этим целям ведется из снайперских винтовок с оптическим прицелом.

По первой цели стрельба ведется одним стрелком с одними и теми же установками прицельных приспособлений, полученными в результате подготовки данных. Всего по первой цели будет произведено 100 выстрелов и получено 100 пробоин на щите.

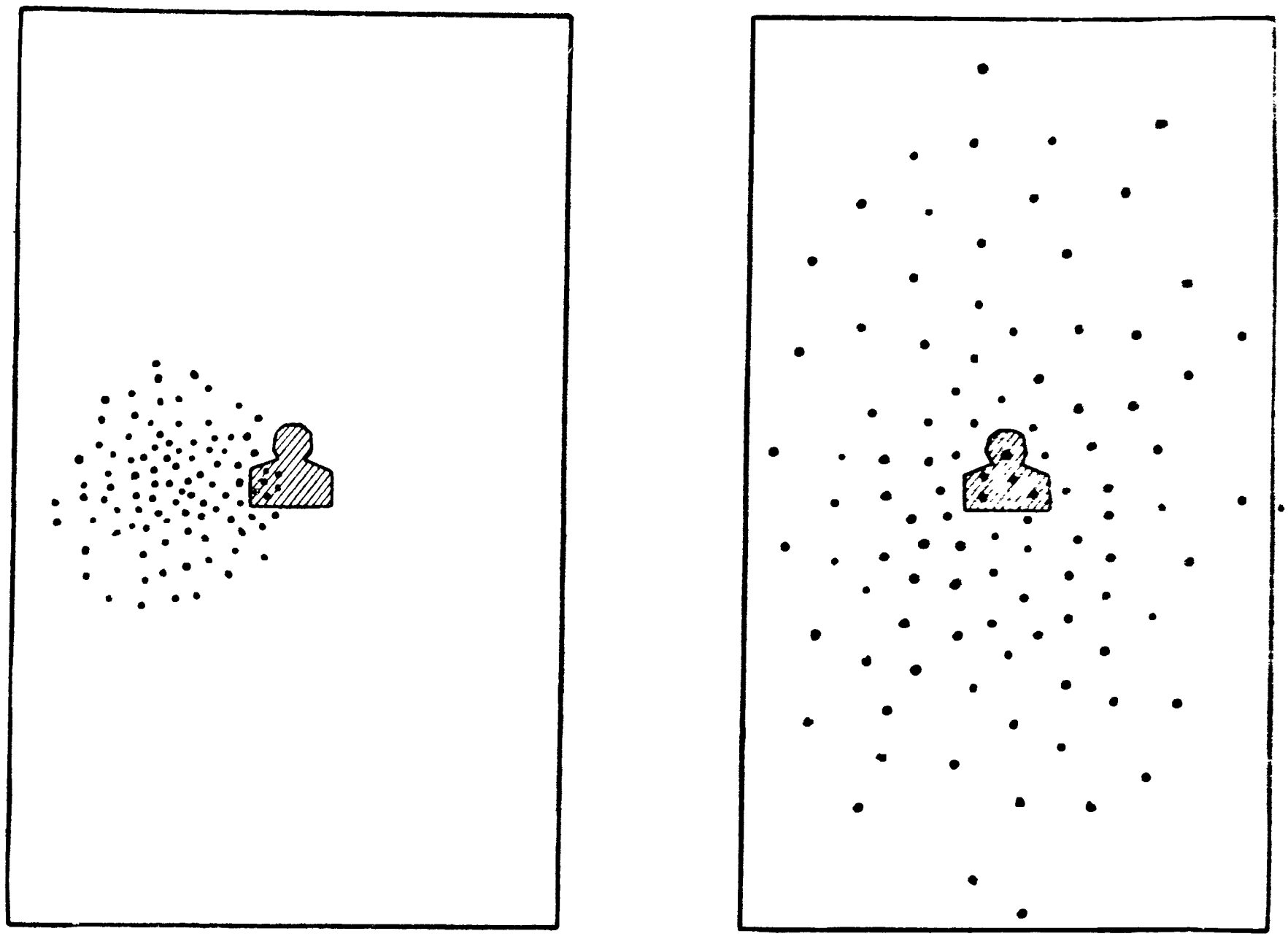


Рис. 164. Площади рассеивания:
а — когда ошибки в установке прицельных приспособлений были постоянными для всех выстрелов; *б* — когда ошибки имели различные значения для каждого выстрела

По второй цели стрельбу ведут 100 стрелков, причем каждый из них решает огневую задачу самостоятельно, т. е. каждый стрелок самостоятельно определяет расстояние до цели, учитывает метеорологические условия, в соответствии с этим устанавливает прицел и барабанчик боковых поправок, рассчитывая совместить среднюю траекторию с центром цели, прицеливается и производит один выстрел. Таким образом, и по второй цели будет произведено 100 выстрелов и получено 100 пробоин на щите.

Сравним рассеивание пуль (пробоин) на первом и втором щитах (рис. 164).

Рассеивание пуль, полученное на первом щите, является следствием только тех причин, какие были изложены в начале главы X. Отклонение средней траектории относительно центра цели носит случайный характер, так как оно получилось в результате взаимодействия случайных ошибок, допущенных стрелком при определении установок прицельных приспособлений. Однако для всей данной серии выстрелов она является постоянной величиной.

При стрельбе по второму щиту, кроме тех причин, какие изложены в начале главы X, на рассеивание пуль оказали влияние и другие причины — ошибки в определении и установке прицельных приспособлений. Если при стрельбе по первой цели эти ошибки бы-

ли одинаковыми для всех выстрелов, то при стрельбе по второй цели они имели различные значения для каждого выстрела. Этим и объясняется, что эллипс рассеивания на втором щите получился значительно больше, чем на первом.

Положим, что имеется несколько источников ошибок, сопровождающих стрельбу и вызывающих отклонения средней траектории относительно центра цели по высоте со срединными ошибками a, $б$, $в$ и т. д. Если табличное рассеивание по высоте характеризуется величиной $Bв$, то величину срединного отклонения по высоте для суммарного рассеивания (с учетом ошибок, сопровождающих стрельбу) можно определить по формуле сложения срединных ошибок нормального закона. Срединное отклонение по высоте суммарного эллипса рассеивания:

$$R_в = \sqrt{Bв^2 + a^2 + б^2 + в^2}; \qquad (94)$$

точно так же срединное отклонение по боковому направлению:

$$R_б = \sqrt{Bб^2 + a_1^2 + б_1^2 + в_1^2}. \qquad (95)$$

Как известно, при большом числе стрельб средние траектории распределяются вокруг центра цели симметрично. Поэтому при определении вероятности попадания с учетом возможных ошибок, сопровождающих стрельбу, можно считать, что центр суммарного эллипса рассеивания всегда совмещается с центром цели (см. рис. 164, *б*).

Чтобы получить формулу определения вероятности попадания в одиночные цели с учетом ошибок, нужно в формуле (81) $Bв$ и $Bб$ соответственно заменить значениями $R_в$ и $R_б$, найденными с учетом ошибок. При этом получим:

$$p = \Phi\left(\frac{y}{\sqrt{Bв^2 + a^2 + б^2 + в^2}}\right) \cdot \Phi\left(\frac{z}{\sqrt{Bб^2 + a_1^2 + б_1^2 + в_1^2}}\right) \cdot K. \qquad (96)$$

Пример. Стрельба ведется из станкового пулемета легкой пулей по грудной фигуре с прицелом 7.

Определить вероятность попадания с учетом ошибок в определении расстояния, учете бокового ветра и наводке.

Величины ошибок характеризуются следующими данными:

По высоте:

$Bв = 0{,}33$ *м*.

a — срединная ошибка в определении расстояния глазомером, равная 10% дальности, или 70 *м*, что отклоняет среднюю траекторию по высоте на 0,91 *м* $\left(70 \cdot \frac{\theta_c}{1000} = 70 \cdot \frac{13}{1000} = 0{,}91 \text{ м}\right)$.

$б$ — срединная ошибка в наводке по высоте, равная 0,5 тысячной, что составляет 0,35 *м*.

По боковому направлению:

$Bб = 0{,}26$ *м*.

a_1 — срединная ошибка в определении поправки на боковой ветер, равная боковому отклонению пули под действием ветра со скоростью 1 *м/сек*. По таблице поправок находим: при стрельбе на 700 *м* боковая поправка на ветер со скоростью 2 *м/сек* равна 1,1 тысячной, что составляет 0,77 *м*. Тогда срединная ошибка поправки на боковой ветер со скоростью 1 *м/сек* равна $0{,}77 : 2 = 0{,}38$ *м*.

$б_1$ — срединная ошибка в наводке по боковому направлению, равная 0,25 тысячной, что составляет 0,18 *м*.

Р е ш е н и е. Высота цели $2y = 0{,}50$ *м*; $y = 0{,}50 : 2 = 0{,}25$ *м*.
Ширина цели $2z = 0{,}50$ *м*; $z = 0{,}50 : 2 = 0{,}25$ *м*.
Коэффициент фигурности цели $K = 0{,}72$.

$$p = \Phi\left(\frac{0{,}25}{\sqrt{0{,}33^2 + 0{,}91^2 + 0{,}35^2}}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0{,}25}{\sqrt{0{,}26^2 + 0{,}38^2 + 0{,}18^2}}\right) \cdot 0{,}72 =$$

$$= \Phi\left(\frac{0{,}25}{1{,}02}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0{,}25}{0{,}49}\right) \cdot 0{,}72 = \Phi\,(0{,}24) \cdot \Phi\,(0{,}51) \cdot 0{,}72 =$$

$$= 0{,}129 \cdot 0{,}269 \cdot 0{,}72 \approx 0{,}025, \text{ или } 2{,}5\%.$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ЦЕЛЕЙ. ВЛИЯНИЕ ОШИБОК НА ВЕРОЯТНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ

Порядок определения вероятности поражения целей с учетом ошибок, сопровождающих стрельбу, рассмотрим вместе с вопросом о том, как влияют на стрельбу различные ошибки.

Величина срединной ошибки каждого способа измерения или какого-либо действия (наводка, учет бокового ветра и др.) не является постоянной и зависит от степени обученности личного состава. Чем лучше подготовлены офицеры, сержанты и солдаты, тем меньше будут ошибки при стрельбе, тем выше надежность стрельбы.

Для того чтобы установить влияние различных ошибок на вероятность поражения одиночных целей, рассмотрим таблицу, в которой приведены два значения срединных ошибок для каждого измерения (действия) при стрельбе: минимальное — для хорошо обученных и максимальное — для мало обученных (табл. 20).

Таблица 20

Срединная ошибка	Ошибки, отклоняющие среднюю траекторию						
	по высоте				по боковому направлению		
	определения расстояний (в % к дальности)	наводки (в тыс.)	учета температуры (в °)	приведения оружия к нормальному бою (в тыс.)	учета бокового ветра (в *м/сек*)	наводки (в тыс.)	приведения оружия к нормальному бою (в тыс.)
Минимальная	8	0,3	5	0,1	0,75	0,2	0,1
Максимальная . . .	16	0,6	10	0,2	1,5	0,4	0,2

П р и м е ч а н и е. Известно, что для одного какого-либо экземпляра оружия ошибка приведения его к нормальному бою является систематической ошибкой (в одном каком-то направлении на одну и ту же величину). Естественно, что такую ошибку (при необходимости) можно заранее учесть. Но в данном случае мы рассматриваем стрельбу из случайно взятого пулемета только одной (первой) очередью выстрелов. При такой постановке вопроса ошибку приведения оружия к нормальному бою можно считать случайной величиной, характеризующейся какой-то срединной ошибкой.

Чтобы показать метод расчета, исследуем стрельбу из станкового пулемета на 600 *м* по грудной фигуре. Для упрощения расчетов площадь грудной фигуры заменим площадью равновеликого ей

квадрата размером $0{,}42 \times 0{,}42$ *м*, т. е. возьмем приведенные размеры цели.

Положим, что нет никаких ошибок, снижающих вероятность поражения цели, и средняя траектория совмещается с центром цели. Известными нам способами определим количество патронов для получения заданной вероятности поражения цели, близкой к 1 (к 100%). Положим, что требуется иметь вероятность поражения цели $P_1 = 0{,}96$ (96%). Решая задачу рассмотренными ранее приемами, получим необходимое число выстрелов $n = 15$.

Теперь определим, какова вероятность поражения той же цели при стрельбе очередью в 15 выстрелов, но с учетом влияния всех ошибок. Сначала рассмотрим случай, когда срединная ошибка каждого измерения минимальная.

Найдем значение срединных ошибок в вертикальной плоскости для дальности 600 *м* (методом, изложенным ранее). Ошибки по высоте:

а — срединная ошибка определения расстояния, равная 8% *Д*, перемещает среднюю траекторию выше или ниже центра цели на 0,44 *м*;

б — срединная ошибка наводки по высоте, равная 0,3 тыс., перемещает среднюю траекторию выше или ниже центра цели на 0,18 *м*;

в — срединная ошибка учета температуры, равная 5°, перемещает среднюю траекторию выше или ниже центра цели на 0,06 *м*;

г — срединная ошибка приведения пулемета к нормальному бою, равная 0,1 тыс., перемещает среднюю траекторию выше или ниже центра цели на 0,06 *м*.

Суммарная срединная ошибка по высоте

$$E_y = \sqrt{a^2 + б^2 + в^2 + г^2} = \sqrt{0{,}44^2 + 0{,}18^2 + 0{,}06^2 + 0{,}06^2} \approx 0{,}48 \quad м.$$

Ошибки по боковому направлению:

a_1 — срединная ошибка учета скорости бокового ветра, равная 0,75 *м/сек*, перемещает среднюю траекторию в сторону от центра цели на 0,20 *м*;

$б_1$ — срединная ошибка наводки по боковому направлению, равная 0,2 тыс., перемещает среднюю траекторию в сторону от центра цели на 0,12 *м*;

$в_1$ — срединная ошибка приведения пулемета к нормальному бою, равная 0,1 тыс., перемещает среднюю траекторию в сторону от центра цели на 0,06 *м*.

Суммарная срединная ошибка по боковому направлению

$$E_z = \sqrt{a_1^2 + б_1^2 + в_1^2} = \sqrt{0{,}20^2 + 0{,}12^2 + 0{,}06^2} \approx 0{,}24 \ м.$$

По полученным результатам расчетов на рис. 165 с соблюдением масштаба изображены цель и район возможных положений средней траектории относительно центра цели, разбитый на 64 одинаковых прямоугольника со сторонами, равными $1E_y$ и $1E_z$. Можно допускать различные предположения (гипотезы) о том, в котором из этих прямоугольников окажется средняя траектория. Каждая гипотеза имеет определенную вероятность; кроме того, каждой из них соответствует какая-то вероятность поражения цели.

Для примера найдем вероятность гипотезы о том, что средняя траектория окажется в прямоугольнике A. Как видно из рисунка, этот прямоугольник получился в результате пересечения двух полос, вероятность нахождения в которых центра рассеивания составляет 0,16 в каждой. Тогда вероятность гипотезы о том, что средняя траектория окажется в прямоугольнике A,

$$P_A = 0{,}16 \cdot 0{,}16 = 0{,}0256.$$

Теперь определим вероятность поражения цели. Но для этого надо знать вероятность попадания при одном выстреле. Эта задача решается обычным способом; вероятность попадания в цель, когда

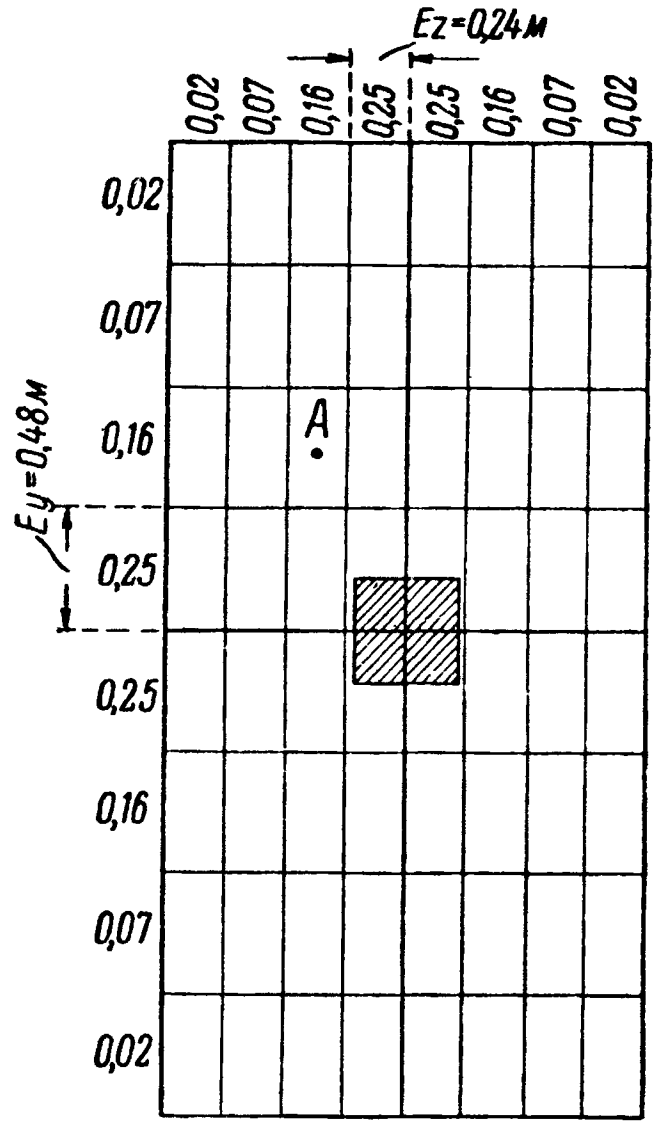


Рис. 165. Район возможных положений средней траектории относительно цели

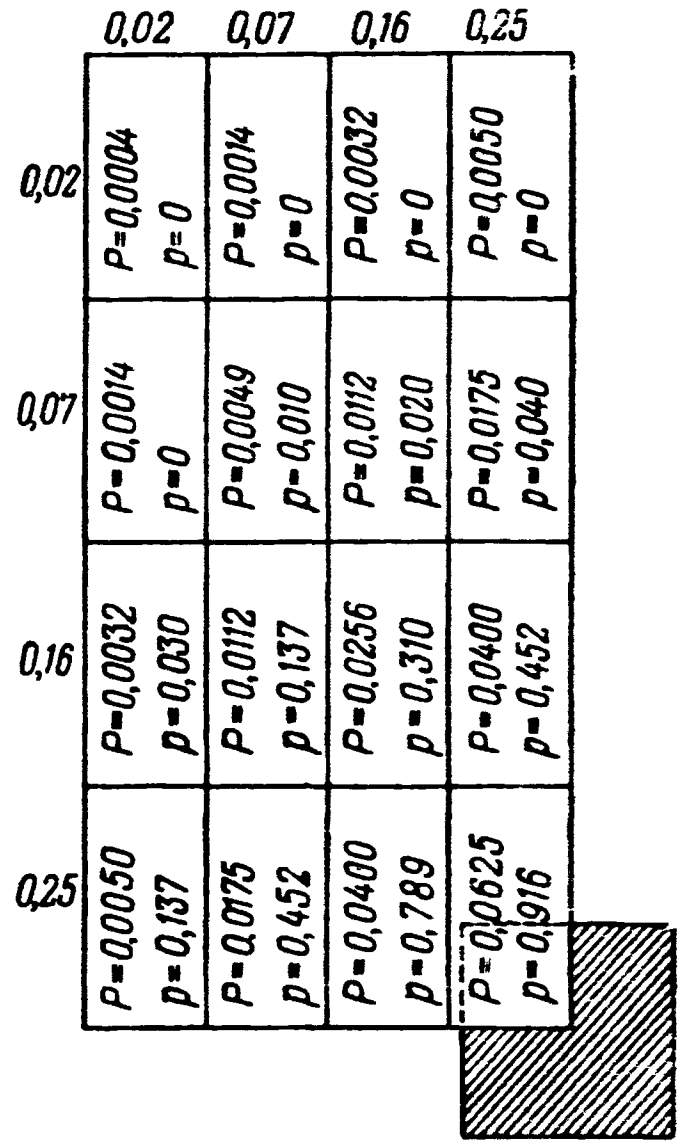


Рис. 166. Значение P и p в одной четверти района

средняя траектория окажется в прямоугольнике A, составит 0,024 ($p = 0{,}024$, или 2,4%). Вероятность поражения цели при 15 выстрелах при этой гипотезе равна:

$$P_{I(A)} = 1 - (1 - 0{,}024)^{15} = 1 - 0{,}976^{15} = 1 - 0{,}69 = 0{,}31.$$

Итак, мы нашли: вероятность гипотезы о том, что средняя траектория окажется в прямоугольнике A, $P_A = 0{,}0256$, вероятность поражения цели по данной гипотезе $P_{I(A)} = 0{,}31$.

Так подсчитаны и указанные на рис. 166 частные значения P и p для остальных прямоугольников одной четверти района возможных положений средней траектории относительно центра цели. Для трех других четвертей этого района значения P и p будут аналогичными (буквой P обозначены вероятности гипотез о положении центра рассеивания, а буквой p — вероятности поражения цели).

Общее значение вероятности поражения цели определяется по формуле полной вероятности события, т. е. как сумма парных произведений вероятностей гипотез на вероятности поражения целей по этим гипотезам, т. е.

$$P_{\text{I}} = P_1 p_1 + P_2 p_2 + \ldots + P_n p_n.$$

Если в эту формулу подставим значения P и p, взятые из рис. 166, произведем соответствующие расчеты и результат увеличим в 4 раза, то получим $P_{\text{I}} = 0{,}50$ (50%).

Такова вероятность поражения цели (грудной фигуры) при стрельбе из станкового пулемета с прицелом 6 очередью в 15 выстрелов и при условии, что суммарная срединная ошибка по высоте $E_y = 0{,}48$ *м* и суммарная срединная ошибка по боковому направлению $E_z = 0{,}24$ *м*. Как было обусловлено выше, такие ошибки являются минимальными и допускаются хорошо подготовленными пулеметчиками.

Если таким же способом произведем расчет вероятности поражения цели с учетом того, что все ошибки максимальные ($E_y = 0{,}96$ *м*, $E_z = 0{,}48$ *м*), то получим $P_{\text{I}} = 0{,}18$ (18%).

Этим же методом произведено исследование влияния ошибок на вероятность поражения цели для других дальностей в пределах 200—1000 *м*. Полученные результаты сведены в таблицу (табл. 21).

Таблица 21

Условия стрельбы	Дальности стрельбы, *м*								
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	Количество патронов на стрельбу								
	3	4	6	10	15	22	30	40	50
	Вероятность поражения, %								
Ошибок нет	100	100	96	96	96	96	96	96	96
Все ошибки минимальные	97	83	69	59	50	41	32,5	25	19
Все ошибки максимальные	70	47,5	33	24,5	18	13,5	10	7	5,5

На основе этой таблицы построен график (рис. 167), дающий наглядное представление о влиянии минимальных и максимальных ошибок на вероятность поражения цели.

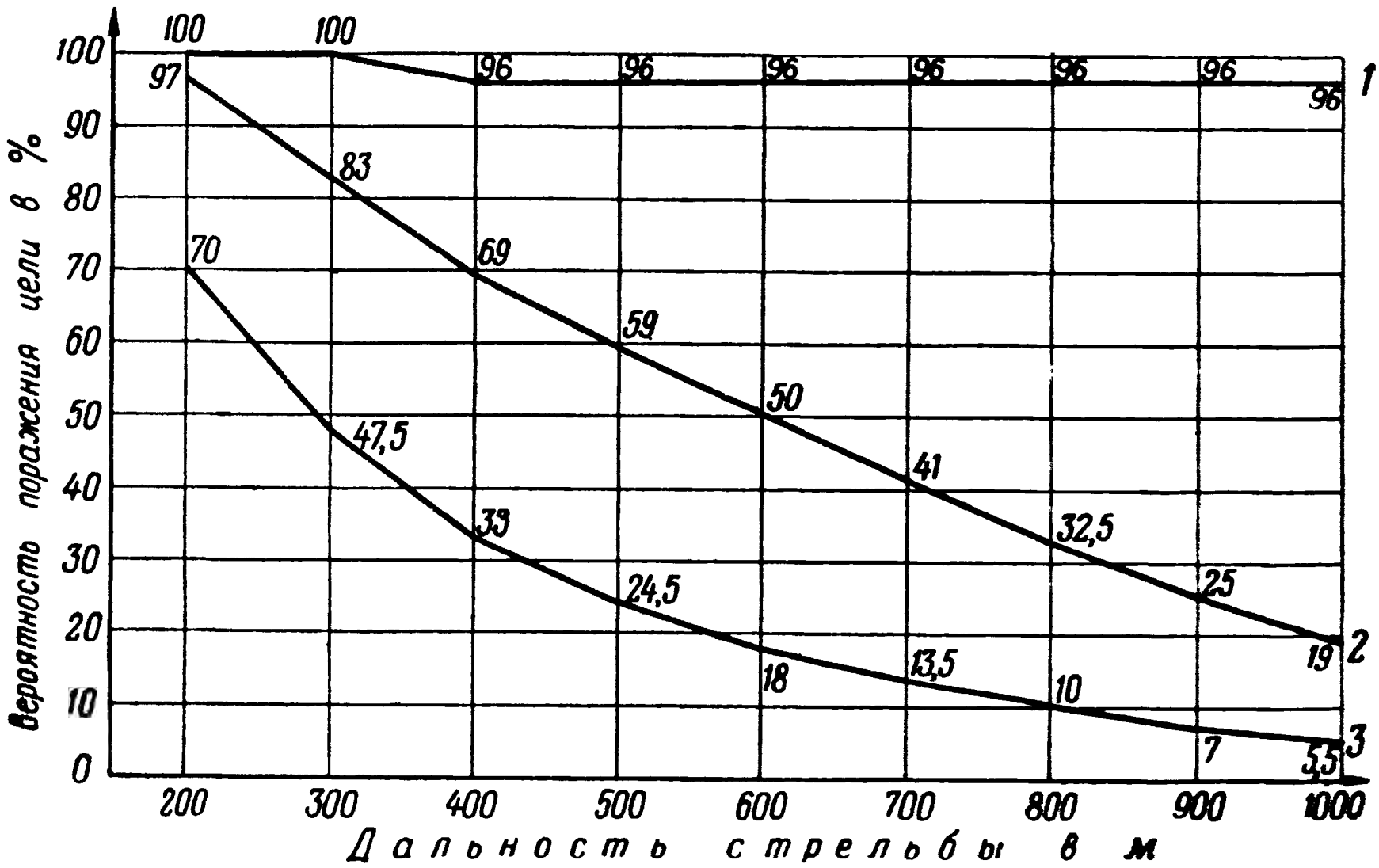


Рис. 167. Кривые, характеризующие вероятность поражения цели в зависимости от ошибок, сопровождающих стрельбу:
1 — когда ошибок нет; *2* — при минимальных срединных ошибках; *3* — при максимальных срединных ошибках

Мы пока рассмотрели только совместное влияние всех минимальных и всех максимальных ошибок на стрельбу. Главной же нашей задачей является исследование влияния каждой системы ошибок в отдельности.

Метод дальнейших расчетов покажем на примере стрельбы с прицелом 6. Положим, что пулеметчики мало обучены глазомерному способу определения расстояний, а по всем другим вопросам имеют хорошую подготовку. При таком условии для получения суммарной срединной ошибки по высоте мы должны взять слагаемыми максимальную срединную ошибку определения расстояния и минимальные срединные ошибки всех других измерений. При этом мы получим:

$$E_y = \sqrt{0{,}88^2 + 0{,}18^2 + 0{,}06^2 + 0{,}06^2} = 0{,}90 \ м.$$

Суммарная срединная ошибка по боковому направлению остается такой же, как и при всех минимальных срединных ошибках, т. е. $E_y = 0{,}24$ *м*.

Если произведем расчет вероятности поражения цели рассмотренным выше способом с учетом данных условий, то получим:

$$P_1 = 0{,}315, \text{ или } 31{,}5\%.$$

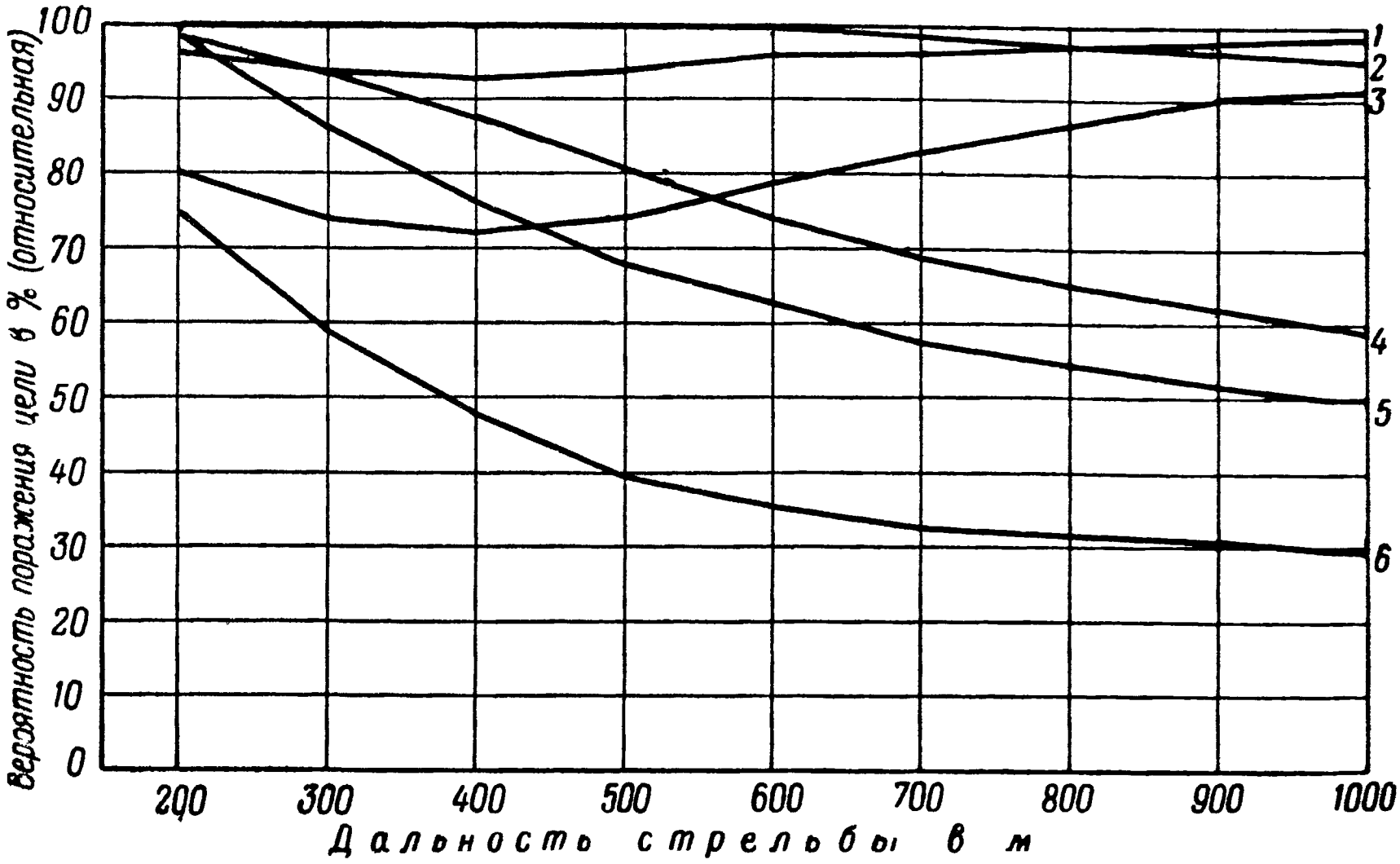


Рис. 168. Кривые, характеризующие влияние ошибок на стрельбу:

1 — ошибки приведения оружия к нормальному бою; *2* — ошибки учета температуры; *3* — ошибки наводки; *4* — ошибки учета бокового ветра; *5* — ошибки определения расстояний; *6* — все ошибки максимальные

Стрельбу, сопровождаемую минимальными срединными ошибками, условимся считать нормальной, а вероятность поражения цели при этом примем за 1 (единицу). Тогда полученное значение $P_1 = 0{,}315$ составит 0,63 по отношению к $P_1 = 0{,}50$, соответствующей нормальным условиям стрельбы ($0{,}315 : 0{,}500 = 0{,}63$).

Таким же методом произведено исследование влияния каждой системы ошибок на вероятность поражения цели для каждой дальности в пределах 200—1000 *м*. Полученные результаты сведены в таблицу (табл. 22), по данным которой построен график (рис. 168), наглядно характеризующий влияние на стрельбу каждой системы ошибок на разные дальности.

На основании данных этой таблицы и графика кривых (см. рис. 168) можно сделать ряд выводов, имеющих большое практическое значение.

Максимальные ошибки приведения оружия к нормальному бою и учета температуры не оказывают существенного влияния на стрельбу.

Наиболее существенное влияние на стрельбу оказывают ошибки определения расстояний, наводки и учета бокового ветра. Как показывают данные таблицы и кривые графика, влияние каждой из этих ошибок для разных дальностей различно. Так, например, с увеличением дальности влияние ошибок определения расстояний и учета бокового ветра постепенно возрастает, причем на всех дальностях более существенное влияние оказывают ошибки определения расстояний.

Таблица 22

Срединные ошибки		Дальность стрельбы, *м*								
максимальные	минимальные	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
		количество патронов на стрельбу								
		3	4	6	10	15	22	30	40	50
		относительная вероятность поражения цели								
—	Все без исключения	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Определения расстояний	Все остальные	0,99	0,86	0,76	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52	0,50
Наводки	Все остальные	0,80	0,74	0,72	0,74	0,79	0,83	0,87	0,90	0,91
Учета бокового ветра	Все остальные	0,99	0,94	0,88	0,81	0,74	0,69	0,65	0,62	0,59
Учета температуры	Все остальные	1	1	1	1	1	0,98	0,97	0,96	0,95
Приведения оружия к нормальному бою	Все остальные	0,96	0,94	0,93	0,94	0,96	0,96	0,97	0,975	0,98
Все без исключения	—	0,75	0,59	0,48	0,40	0,36	0,33	0,32	0,31	0,295

При стрельбе на дальности до 450 *м* (округленно) ошибки наводки оказывают на стрельбу наиболее существенное влияние по сравнению с другими. Так, например, при стрельбе на дальность 300 *м* ошибки наводки снижают вероятность поражения цели на 0,26, ошибки определения расстояний — только на 0,14 (по сравнению с вероятностью поражения цели при всех минимальных ошибках $P_1 = 83\%$, принятой за единицу). Начиная с 400 *м*, кривая влияния ошибок наводки идет кверху, пересекая последовательно кривые ошибок определения расстояний и учета бокового ветра. Это значит, что на дальностях свыше 450 *м* ошибки определения расстояний оказывают на стрельбу наибольшее влияние по сравнению с другими ошибками. Например, при стрельбе на 800 *м* ошибки определения расстояний снижают вероятность поражения цели на 0,45, ошибки учета бокового ветра — на 0,35, а ошибки наводки — только на 0,13 (по сравнению с $P_1 = 32{,}5\%$, принятой за единицу).

На основании всего сказанного можно сделать следующий основной вывод.

Вероятность поражения целей при стрельбе в условиях боя зависит не только от точности наводки (прицеливания и спуска курка), но и от умения определять расстояния и учитывать боковой ветер. Если при стрельбе на дальности в пределах 400 *м* точность наводки имеет наибольшее значение, то на дальности свыше 600 *м* вероятность поражения целей зависит в основном от точности определения расстояний и учета бокового ветра. Следовательно, при обучении личного состава подразделений этим вопросам необходимо уделять большое внимание.

Все эти выводы относятся и к стрельбе из других видов стрелкового оружия, так как их баллистические свойства не отличаются значительно от баллистических свойств станкового пулемета.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Размеры целей

Наименование целей	Размеры целей			Коэффициент фигурности	Приведенные размеры целей	
	высота, *м*	ширина, *м*	площадь, $м^2$		высота, *м*	ширина, *м*
Головная фигура (мишень № 5)	0,30	0,50	0,11	0,73	0,26	0,42
Грудная фигура (мишень № 6)	0,50	0,50	0,18	0,72	0,42	0,42
Поясная фигура (мишень № 7)	1,00	0,50	0,40	0,80	0,89	0.45
Бегущая фигура (мишень № 8)	1,50	0,50	0,60	0.80	1,34	0,45
Бегущая фигура (мишень № 8а)	1,50	0,50	0,40	0,53	1,11	0,36
Ростовая фигура (мишень № 9)	1,70	0,50	0,65	0,76	1,48	0,44
Пулемет (мишень № 10) . . .	0,55	0,75	0,27	0,65	0,44	0,61

Таблица 2

Таблица значений Ф (β)

β	Ф (β)	β	Ф (β)	β	Ф (β)	β	Ф (β)	β	Ф (β)
0,00	0,000								
0,01	0,005	0,21	0,113	0,41	0,218	0,61	0,319	0,81	0,415
0,02	0,011	0,22	0,118	0,42	0,223	0,62	0,324	0,82	0,420
0,03	0,016	0,23	0,123	0,43	0,228	0,63	0,329	0,83	0,424
0,04	0,022	0,24	0,129	0,44	0,233	0,64	0,334	0,84	0,429
0,05	0,027	0,25	0,134	0,45	0,239	0,65	0,339	0,85	0,434
0,06	0,032	0,26	0,139	0,46	0,244	0,66	0,344	0,86	0,438
0,07	0,038	0,27	0,145	0,47	0,249	0,67	0,349	0,87	0,443
0,08	0,043	0,28	0,150	0,48	0,254	0,68	0,354	0,88	0,447
0,09	0,048	0,29	0,155	0,49	0,259	0,69	0,358	0,89	0,452
0,10	0,054	0,30	0,160	0,50	0,264	0,70	0,363	0,90	0,456
0,11	0,059	0,31	0,166	0,51	0,269	0,71	0,368	0,91	0,461
0,12	0,065	0,32	0,171	0,52	0,274	0,72	0,373	0,92	0,465
0,13	0,070	0,33	0,176	0,53	0,279	0,73	0,378	0,93	0,470
0,14	0,075	0,34	0,181	0,54	0,284	0,74	0,382	0,94	0,474
0,15	0,081	0,35	0,187	0,55	0,289	0,75	0,387	0,95	0,478
0,16	0,086	0,36	0,192	0,56	0,294	0,76	0,392	0,96	0,483
0,17	0,091	0,37	0,197	0,57	0,299	0,77	0,396	0,97	0,487
0,18	0,097	0,38	0,202	0,58	0,304	0,78	0,401	0,98	0,491
0,19	0,102	0,39	0,207	0,59	0,309	0,79	0,406	0,99	0,496
0,20	0,107	0,40	0,213	0,60	0,314	0,80	0,411	0,100	0,500

Продолжение

β	Φ (β)	β	Φ (β)	β	Φ (β)	β	Φ (β)	β	Φ (β)
1,01	0,504	1,51	0,692	2,01	0,825	2,51	0,910	3,01	0,958
1,02	0,509	1,52	0,695	2,02	0,827	2,52	0,911	3,02	0,958
1,03	0,513	1,53	0,698	2,03	0,829	2,53	0,912	3,03	0,959
1,04	0,517	1,54	0,701	2,04	0,831	2,54	0,913	3,04	0,960
1,05	0,521	1,55	0,704	2,05	0,833	2,55	0,915	3,05	0,960
1,06	0,525	1,56	0,707	2,06	0,835	2,56	0,916	3,06	0,961
1,07	0,530	1,57	0,710	2,07	0,837	2,57	0,917	3,07	0,962
1,08	0,534	1,58	0,713	2,08	0,839	2,58	0,918	3,08	0,962
1,09	0,538	1,59	0,716	2,09	0,841	2,59	0,919	3,09	0,963
1,10	0,542	1,60	0,719	2,10	0,843	2,60	0,921	3,10	0,963
1,11	0,546	1,61	0,722	2,11	0,845	2,61	0,922	3,11	0,964
1,12	0,550	1,62	0,725	2,12	0,847	2,62	0,923	3,12	0,965
1,13	0,554	1,63	0,728	2,13	0,849	2,63	0,924	3,13	0,965
1,14	0,558	1,64	0,731	2,14	0,851	2,64	0,925	3,14	0,966
1,15	0,562	1,65	0,734	2,15	0,853	2,65	0,926	3,15	0,966
1,16	0,566	1,66	0,737	2,16	0,855	2,66	0,927	3,16	0,967
1,17	0,570	1,67	0,740	2,17	0,857	2,67	0,928	3,17	0,967
1,18	0,574	1,68	0,742	2,18	0,859	2,68	0,929	3,18	0,968
1,19	0,578	1,69	0,746	2,19	0,860	2,69	0,930	3,19	0,969
1,20	0,582	1,70	0,748	2,20	0,862	2,70	0,931	3,20	0,969
1,21	0,586	1,71	0,751	2,21	0,864	2,71	0,932	3,21	0,970
1,22	0,589	1,72	0,754	2,22	0,866	2,72	0,933	3,22	0,970
1,23	0,593	1,73	0,757	2,23	0,867	2,73	0,934	3,23	0,971
1,24	0,597	1,74	0,759	2,24	0,869	2,74	0,935	3,24	0,971
1,25	0,601	1,75	0,762	2,25	0,871	2,75	0,936	3,25	0,972
1,26	0,605	1,76	0,765	2,26	0,873	2,76	0,937	3,26	0,972
1,27	0,608	1,77	0,767	2,27	0,874	2,77	0,938	3,27	0,973
1,28	0,612	1,78	0,770	2,28	0,876	2,78	0,939	3,28	0,973
1,29	0,616	1,79	0,773	2,29	0,878	2,79	0,940	3,29	0,974
1,30	0,619	1,80	0,775	2,30	0,879	2,80	0,941	3,30	0,974
1,31	0,623	1,81	0,778	2,31	0,881	2,81	0,942	3,40	0,978
1,32	0,627	1,82	0,780	2,32	0,882	2,82	0,943	3,50	0,982
1,33	0,630	1,83	0,783	2,33	0,884	2,83	0,944	3,60	0,985
1,34	0,634	1,84	0,785	2,34	0,886	2,84	0,945	3,70	0,987
1,35	0,637	1,85	0,788	2,35	0,887	2,85	0,945	3,80	0,989
1,36	0,641	1,86	0,790	2,36	0,889	2,86	0,946	3,90	0,991
1,37	0,645	1,87	0,793	2,37	0,890	2,87	0,947	4,00	0,993
1,38	0,648	1,88	0,795	2,38	0,892	2,88	0,948	4,10	0,994
1,39	0,652	1,89	0,798	2,39	0,893	2,89	0,949	4,20	0,995
1,40	0,655	1,90	0,800	2,40	0,895	2,90	0,950	4,30	0,996
1,41	0,658	1,91	0,802	2,41	0,896	2,91	0,950	4,40	0,997
1,42	0,662	1,92	0,805	2,42	0,897	2,92	0,951	4,50	0,998
1,43	0,665	1,93	0,807	2,43	0,899	2,93	0,952	4,60	0,998
1,44	0,669	1,94	0,809	2,44	0,900	2,94	0,953	4,70	0,998
1,45	0,672	1,95	0,812	2,45	0,902	2,95	0,953	4,80	0,999
1,46	0,675	1,96	0,814	2,46	0,903	2,96	0,954	4,90	0,999
1,47	0,679	1,97	0,816	2,47	0,904	2,97	0,955	5,00	0,999
1,48	0,682	1,98	0,818	2,48	0,906	2,98	0,956	6,00	0,999
1,49	0,685	1,99	0,820	2,49	0,907	2,99	0,956		
1,50	0,688	2,00	0,822	2,50	0,908	3,00	0,957		

Таблица 3

Вероятность поражения цели в зависимости от математического ожидания числа попаданий в цель (в одну фигуру) при $p = 0{,}1$

a_n	P_1	a_n	P_1	a_n	P_1	a_n	P_1
		0,92	0,621	1.82	0,853	2,72	0.943
		0,94	0,629	1,84	0,856	2,74	0,944
		0,96	0,637	1,86	0,859	2,76	0,945
		0,98	0,644	1,88	0,862	2,78	0,946
0,10	0,100	1,00	0,652	1,90	0,865	2,80	0,947
0,12	0,119	1,02	0,659	1,92	0,868	2,82	0,949
0,14	0,137	1,04	0,666	1,94	0,871	2,84	0,950
0,16	0,155	1,06	0,673	1,96	0,873	2,86	0,951
0,18	0,173	1,08	0,680	1,98	0,876	2,88	0,952
0,20	0,190	1,10	0,687	2,00	0,879	2,90	0,953
0,22	0,207	1,12	0,693	2,02	0,882	2,92	0,954
0,24	0,224	1,14	0,700	2,04	0,884	2,94	0,955
0,26	0,240	1,16	0,706	2,06	0,887	2,96	0,956
0,28	0,256	1,18	0,712	2,08	0,889	2,98	0,957
0,30	0,271	1,20	0,718	2,10	0,891	3,00	0,958
0,32	0,286	1,22	0,724	2,12	0,893	3,05	0,960
0,34	0,301	1,24	0,730	2,14	0,895	3,10	0,962
0,36	0,316	1,26	0,735	2,16	0,898	3,15	0,964
0,38	0,330	1,28	0,741	2,18	0,900	3,20	0,966
0,40	0,344	1,30	0,746	2,20	0,902	3,25	0,968
0,42	0,358	1,32	0,752	2,22	0,904	3,30	0,970
0,44	0,371	1,34	0,757	2,24	0,906	3,35	0,971
0,46	0,384	1,36	0,762	2,26	0,908	3,40	0,972
0,48	0,397	1,38	0,767	2,28	0,910	3,45	0,974
0,50	0,410	1,40	0,772	2,30	0,912	3,50	0,975
0,52	0,421	1,42	0,776	2,32	0,913	3,55	0,976
0,54	0,434	1,44	0,781	2,34	0,915	3,60	0,978
0,56	0,446	1,46	0,786	2,36	0,917	3,65	0,979
0,58	0,458	1,48	0,790	2,38	0,919	3,70	0,980
0,60	0,469	1,50	0,794	2,40	0,921	3,75	0,981
0,62	0,480	1,52	0,799	2,42	0,922	3,80	0,982
0,64	0,491	1,54	0,803	2,44	0,924	3,85	0,983
0,66	0,502	1,56	0,807	2,46	0,926	3,90	0,984
0,68	0,512	1,58	0,811	2,48	0,927	3,95	0,985
0,70	0,522	1,60	0,815	2,50	0,928	4,00	0,986
0,72	0,532	1,62	0,819	2,52	0,930	4,20	0,989
0,74	0,542	1,64	0,823	2,54	0,932	4,40	0,990
0,76	0,551	1,66	0,826	2,56	0,933	4,60	0,992
0,78	0,561	1,68	0,830	2,58	0,934	4,80	0,994
0,80	0,570	1,70	0,834	2,60	0,935	5,00	0,995
0,82	0,579	1,72	0,838	2,62	0,936	5,20	0,996
0,84	0,588	1,74	0,841	2,64	0,937	5,40	0,997
0,86	0,596	1,76	0,844	2,66	0,939	5,60	0,998
0,88	0,605	1,78	0,847	2,68	0,941	5,80	0,999
0,90	0,613	1,80	0,850	2,70	0,942	6,00	0,999

Примечание. a_n — математическое ожидание числа попаданий в цель; P_1 — вероятность поражения цели.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наставление по стрелковому делу. Основы стрельбы из стрелкового оружия. Воениздат. 1956 г.
2. Наставление по стрелковому делу. 82-*мм* батальонный миномет. Воениздат. 1952 г.
3. Благонравов А. А. Основания проектирования автоматического оружия. Оборонгиз. 1940 г.
4. Блинов Г. И. Теория стрельбы наземной артиллерии, часть I. Воениздат. 1948 г.
5. Боев Г. П. Теория вероятностей. Гостехиздат. 1950 г.
6. Гнеденко Б. В. и Хинчин А. Я. Элементарное введение в теорию вероятностей. 2-е изд. Гостехиздат. 1950 г.
7. Горст А. Г. Пороха и взрывчатые вещества. Оборонгиз. 1949 г.
8. Курс артиллерии. Под общей редакцией генерал-майора инженерно-артиллерийской службы А. Д. Блинова. Книги 1, 2, 3, 4, 8, 9. Воениздат.
9. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика. Оборонгиз. 1949 г.
10. Филатов Н. Основания стрельбы из ружей и пулеметов. 1926 г.
11. Шапиро Я. М. Внешняя баллистика. Оборонгиз. 1946 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава I. **Общие сведения о современном оружии стрелковых подразделений**	8
Глава II. **Взрывчатые вещества**	13
1. Явление взрыва	—
2. Классификация взрывчатых веществ по их практическому применению	15
Инициирующие взрывчатые вещества	—
Дробящие взрывчатые вещества	—
Метательные взрывчатые вещества (пороха)	16
Пиротехнические составы	17
Глава III. **Сведения из внутренней баллистики**	18
1. Процесс горения пороха	—
2. Явление выстрела	23
3. Особенности выстрела из миномета	25
4. Особенности выстрела из реактивного оружия	27
5. Прочность и живучесть ствола	32
6. Начальная скорость снаряда	35
7. Отдача. Образование угла вылета	39
Глава IV. **Сведения из внешней баллистики**	46
1. Движение снаряда под действием силы тяжести	47
Траектория и ее элементы	—
Свойства траектории	54
Значение параболической теории	—
2. Движение снаряда в воздухе	55
Сопротивление воздуха	—
Сила сопротивления воздуха	58
Ускорение силы сопротивления воздуха	60
Действие силы сопротивления воздуха на снаряд	62
Вращательное движение снаряда. Деривация	63
Полет мины в воздухе	69
Полет реактивного снаряда	70
Свойства траектории в воздухе	71
3. Влияние метеорологических условий на полет снаряда	75
Плотность воздуха	—
Ветер	77
Глава V. **Прицеливание и прицельные приспособления**	79
1. Измерение углов	—
Единицы измерения углов	—
Практическое применение тысячной	81
Измерение углов с помощью приборов и подручных средств	83

Стр.

2. Общее понятие о прицеливании 85
3. Зависимость угла прицеливания от угла места цели 88
4. Прицельные приспособления 90
Открытые прицелы . . . . . —
Диоптрические прицелы 99
Оптические прицелы 100
Зенитные прицелы для стрелкового оружия 101
Минометные прицелы 108

Глава VI. **Форма траектории и ее практическое значение** 112

1. Общее понятие об отлогости траектории . . . . . —
2. Прицельное поражаемое пространство и прямой выстрел . . . 113
3. Поражаемое пространство по местности 118
4. Прикрытое и мертвое пространство 124

Глава VII. **Действие снарядов по цели** 129

1. Действие пуль по цели . . . . . —
2. Действие 82-*мм* мин по цели 132
3. Кумулятивное действие 133

Глава VIII. **Сведения из теории вероятностей** 136

1. Задачи теории вероятностей . . . . . —
2. Классификация событий . . . . . —
3. Частота появления события 137
4. Вероятность появления события. Свойства вероятности 138
5. Способы вычисления вероятностей 141
6. Полная вероятность. Вероятность гипотез после испытания . . 142
7. Вероятность появления события хотя бы один раз при повторении испытаний 144
8. Определение числа испытаний, необходимых для появления события хотя бы один раз с заданной вероятностью 145
9. Случайная величина. Математическое ожидание случайной величины 146

Глава IX. **Сведения из теории ошибок** 150

1. Ошибки измерений . . . . . —
2. Нормальный закон ошибок 151
3. Срединная ошибка. Шкала ошибок 157
4. Определение срединной ошибки по результатам измерений. Зависимость между срединной, средней арифметической и средней квадратической ошибками 163
5. Срединная ошибка среднего результата 166
6. Ошибки на плоскости 168
Сложение ошибок, направленных по одной прямой 170
Сложение ошибок, имеющих разные направления в одной плоскости 171

Глава X. **Рассеивание траекторий** 174

1. Причины рассеивания и сноп траекторий . . . . . —
2. Закон рассеивания траекторий 177
3. Меры, характеризующие рассеивание траекторий 179
Срединное (вероятное) отклонение 180
Сердцевинная полоса и сердцевина рассеивания 188
Радиус круга, вмещающего лучшую половину попаданий . . . 191
Соотношение между величинами рассеивания по высоте и по дальности 193
Табличные значения характеристик рассеивания и рассеивание данного момента 194

Стр.

4. Определение положения центра рассеивания (средней точки попадания) при небольшом числе выстрелов 195
5. Рассеивание при стрельбе из нескольких минометов или пулеметов 198
6. Рассеивание в различных условиях стрельбы 200
Зависимость величины рассеивания от дальности стрельбы . . —
Зависимость величины рассеивания по дальности от наклона местности 202
7. Поражаемая зона при рассеивании траекторий 207
8. Особенности рассеивания при стрельбе из автоматического оружия 208
Рассеивание пуль при стрельбе из станкового пулемета . . . 209
Рассеивание пуль при стрельбе из ручного и ротного пулеметов 210
Рассеивание пуль при стрельбе из автомата 211

Глава XI. **Вероятность попадания при заданном положении средней траектории относительно цели** 212

1. Общее понятие о вероятности попадания. Зависимость вероятности попадания от различных условий . . . . . —
2. Приближенные способы определения вероятности попадания
Определение вероятности попадания по сердцевине рассеивания 216
Определение вероятности попадания по шкале рассеивания . . 217
3. Определение вероятности попадания по таблице вероятностей 219
Определение вероятности попадания в полосы 220
Определение вероятности попадания в прямоугольники и в одиночные цели различных очертаний 224
4. Вероятность попадания в одиночные цели при стрельбе с искусственным рассеиванием по фронту 225

Глава XII. **Надежность и экономичность стрельбы** 227

1. Вероятность поражения одиночных целей как мера надежности стрельбы . . . . . —
2. Математическое ожидание числа попаданий как мера экономичности стрельбы 233
3. Упрощенные способы определения надежности стрельбы и необходимого числа выстрелов при стрельбе с заданной вероятностью поражения цели 236
4. Основные условия, от которых зависит расход патронов для поражения одиночных целей 239
5. Надежность и экономичность стрельбы с рассеиванием по фронту по групповым широким целям 244

Глава XIII. **Вероятность попадания и поражения целей с учетом возможных ошибок, сопровождающих стрельбу** 250

1. Определение вероятности попадания . . . . . —
2. Определение вероятности поражения одиночных целей. Влияние ошибок на вероятность поражения 253

Приложение 261

Семиколенов Николай Петрович, Бондаренко Федор Григорьевич, Краснер Наум Яковлевич

Основы стрельбы из оружия стрелковых подразделений

Редактор полковник *Вильчинский И. К.*
Технический редактор *Соколова Г. Ф.*
Корректор *Мусатова Е. А.*

Сдано в набор 31.07.57 Г — 40373 **Подписано к печати 23.05.58**

Формат бумаги 60×92$^{1}/_{16}$ — 16$^{3}/_{4}$ печ. л. = 16,75 усл. печ. л. 17,328 уч.-изд. л.

Военное издательство Министерства обороны Союза ССР
Москва, К-9, Тверской бульвар, 18

Изд. № 2/4840 Зак. № 1379

2-я типография им. К. Е. Ворошилова Военного издательства Министерства обороны Союза ССР

Ленинград — Центр-1, Дворцовая пл., 10

Цена 6 р. 20 к.